46069

N 713 • CAT-E

Rapports internes de la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral

ETUDE DE SALUBRITE DU GISEMENT NATUREL DE COQUES (*Cerastoderma edule*) DE LA PLAGE BENOIT EN BAIE DU POULIGUEN - LOIRE-ATLANTIQUE (1989-1990)

Martial CATHERINE, Benoît BELIAEFF, Annie PEZERON

R.INT.DEL/91.04 - NANTES

N 713
CAT-E

IFREMER Bibliothèque de BREST
OEL08029

IFREMER

Adresse :

IFREMER
Centre de Nantes
B.P. 1049
44037 NANTES CEDEX 01

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL

SERVICE

STATION/LABORATOIRE : DEL/NANTES

AUTEUR(S)	CODE :
Martial CATHERINE, Benoît BELIAEFF, Annie PEZERON	N° : R.INT.DEL/91.04-Nantes
TITRE Etude de salubrité du gisement naturel de coques *Cerastoderma edule* de la plage Benoît en baie du Pouliguen - Loire-Atlantique (1989-1990)	date : 28 mai 1991 tirage nb : 110 Nb pages : 85 Nb figures : 17 + 14 Nb photos :
CONTRAT (intitulé) N°_____	DIFFUSION libre [X] restreinte [ ] confidentielle [ ]

RESUME

Le gisement naturel de coques de la plage Benoît, situé en baie du Pouliguen, a été classé en zone insalubre en juin 1988. Depuis des travaux ont été réalisés sur le réseau d'assainissement. Cette étude est destinée à montrer l'état de salubrité bactériologique de cette zone.

La plage Benoît reçoit des eaux polluées par l'intermédiaire de l'étier du Pouliguen. les principales causes de contamination fécale sont :

- les eaux usées domestiques des hameaux non raccordés,
- le dysfonctionnement du couple réseau d'assainissement/station d'épuration en période estivale.

Le traitement des données bactériologiques recueillies au cours de la période juillet 89/juillet 90 prend en compte l'influence des paramètres hydroclimatiques sur la distribution de la pollution. La direction du vent apparaît comme un facteur déterminant dans la compréhension du devenir des eaux usées aboutissant dans le milieu marin. L'exploitation des mesures montre un dépassement des normes particulièrement en période estivale et ceci malgré une faible pluviométrie.

Un avis de maintien en zone insalubre du gisement naturel de coques de la plage Benoît doit être émis.

mots-clés : plage Benoît, coques, classement, pollution, coliformes fécaux, courantologie, météorologie, arrêté, avis.

key words :

© IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer 1991

IFREMER

ETUDE DE SALUBRITE DU GISEMENT NATUREL DE COQUES (CERASTODERMA EDULE) DE LA PLAGE BENOIT EN BAIE DU POULIGUEN LOIRE-ATLANTIQUE (1989-1990)

Martial CATHERINE, Benoît BELIAEFF, Annie PEZERON

SOMMAIRE

INTRODUCTION 4

I. ENVIRONNEMENT SANITAIRE DU GISEMENT DE COQUES 4

1.1. Bassin versant 4
1.2. Types de pollution 11
1.3. Courantologie 15

II. RISQUES SANITAIRES ET HISTORIQUE DU CLASSEMENT DU GISEMENT 18

2.1. Risques sanitaires associés à la pollution microbienne des coquillages 18
2.2. Historique du classement en zone insalubre du gisement de coques 20

III. CONDITIONS D'EXPLOITATION DU GISEMENT DE COQUES 21

3.1. Réglementation 21
3.2. Technique de pêche – Production 21

IV. ETUDE MICROBIOLOGIQUE 22

4.1. Matériel et Méthodes 22
4.2. Traitement des données – Résultats 25
4.3. Discussion 34

V. CONCLUSION GENERALE 37

VI. BIBLIOGRAPHIE 39

VII. LISTE DES ANNEXES 41

VIII. LEXIQUE 84

AVANT-PROPOS

Les auteurs remercient :

- M. R. POTOT, SIVOM de la Région Bauloise
- M. J.-P. CENET, DDE Guérande
- M. P. BRIE, Service Maritime et de Navigation Saint-Nazaire
- M. D. ROBBE, Cellule Qualité des Eaux Loire-Atlantique
- M. J.-E. CAILLE, CISE-OUEST La Baule
- Mme M.-A. GORAGUER et Mme A. SADIR, DDASS Loire-Atlantique

pour la mise à disposition d'études et documents réalisés par leur organisme.

- M. B. SAUNIER, SAUNIER Eau et Environnement Rennes

pour son aimable autorisation en vue de la publication de certains travaux.

- M. M. ROZEC, EID Démoustication Batz-sur-Mer
- Melle L. MIOSSEC, IFREMER Nantes
- M. P. LAZURE, IFREMER Brest
- M. P. FRESNEL, SATESE Nantes

pour leurs avis et remarques concernant respectivement les pollutions du réseau hydrologique, les germes pathogènes, la courantologie, le réseau d'assainissement.

La réalisation matérielle de ce rapport est due à Mme Francine BOCQUENE, que les auteurs remercient pour la qualité de son travail.

Le présent document a également bénéficié, dans l'approche de l'étude, des travaux réalisés par M. P.-G. FLEURY et J.-P. CHAUVIN, IFREMER La Trinité-sur-Mer, pour l'étude sanitaire de la rivière de Pénerf Morbihan.

INTRODUCTION

Le gisement naturel de coques de la plage Benoît, s'étend essentiellement sur la commune de La Baule, puis dans l'étier du Pouliguen et sur une petite partie de sa rive droite.

De 1974 à 1984, la production annuelle de ce gisement à des fins commerciales, se situe aux environs de 150 à 300 tonnes de coques. Depuis lors, la production s'est intensifiée.

Dès 1983, les contrôles sanitaires faits par les Services Vétérinaires sur les marchés ont mis en évidence de très mauvais résultats bactériologiques sur les coques. L'insalubrité du gisement naturel de coques a été confirmée par le laboratoire CSRU d'IFREMER à Nantes lors d'une étude commencée en 1985 et poursuivie en 1986. La décision de classement en zone insalubre de ce gisement a donc été prise par décision ministérielle du 13 Juin 1988.

L'importance socio-économique du gisement naturel de coques ainsi que l'attrait croissant de la pêche récréative lors des grandes marées, à plus forte raison en saison estivale dans ce site balnéaire très réputé, ont conduit à réaliser une étude plus approfondie sur l'ensemble du secteur. Elle le situe dans son environnement littoral urbanisé, traite des conditions spécifiques d'exploitation, puis des résultats et conclusions de l'étude bactériologique.

Cette étude, incluse dans le programme régional, présentée par le S.M.I.D.A.P. (Syndicat Mixte pour le Développement Aquacole en Pays de Loire) conjointement avec la Délégation Régionale à l'Aquaculture, est, en partie, financée par le Conseil Général de Loire-Atlantique.

I - ENVIRONNEMENT SANITAIRE DU GISEMENT DE COQUES

1.1. Bassin versant

La Presqu'île Guérandaise est très riche en zones naturelles : marais du bassin du Mes, de Guérande et de la Grande Brière, zones de cultures de coquillages du Croisic, Pen Bé/Mesquer, Pont Mahé/Le Bile et Pénestin. A cela s'ajoute une multitude de gisements naturels coquilliers de la Loire à la Vilaine faisant l'objet d'une pêche professionnelle et récréative intense. Face aux défis du développement touristique, élément économique essentiel de cette région, et à la nécessité d'améliorer la qualité des milieux récepteurs extrêmement sensibles, d'importantes études concernant les problèmes d'assainissement de la Presqu'île Guérandaise ont été financées par le SIVOM de la Région Bauloise. Les éléments concernant les aspects géographiques et leurs illustrations sont principalement extraits de l'étude intitulée "Evaluation des possibilités de mise en place de filières d'assainissement autonome regroupé".

1.1.1. Situation géographique

Le bassin versant de la partie ouest de la baie du Pouliguen (Fig. 1) est délimité :

- au nord : par la route Guérande - Saint Nazaire,
- au sud : la côte du Pouliguen à la Baule,
- à l'est : par une ligne joignant perpendiculairement la côte à la route Bleue (D 99) à Escoublac,
- à l'ouest : par une ligne partant de la côte à La Govelle et rejoignant les coteaux de Guérande en passant par les hameaux de Kermoisan et Trégaté à Batz-sur-Mer.

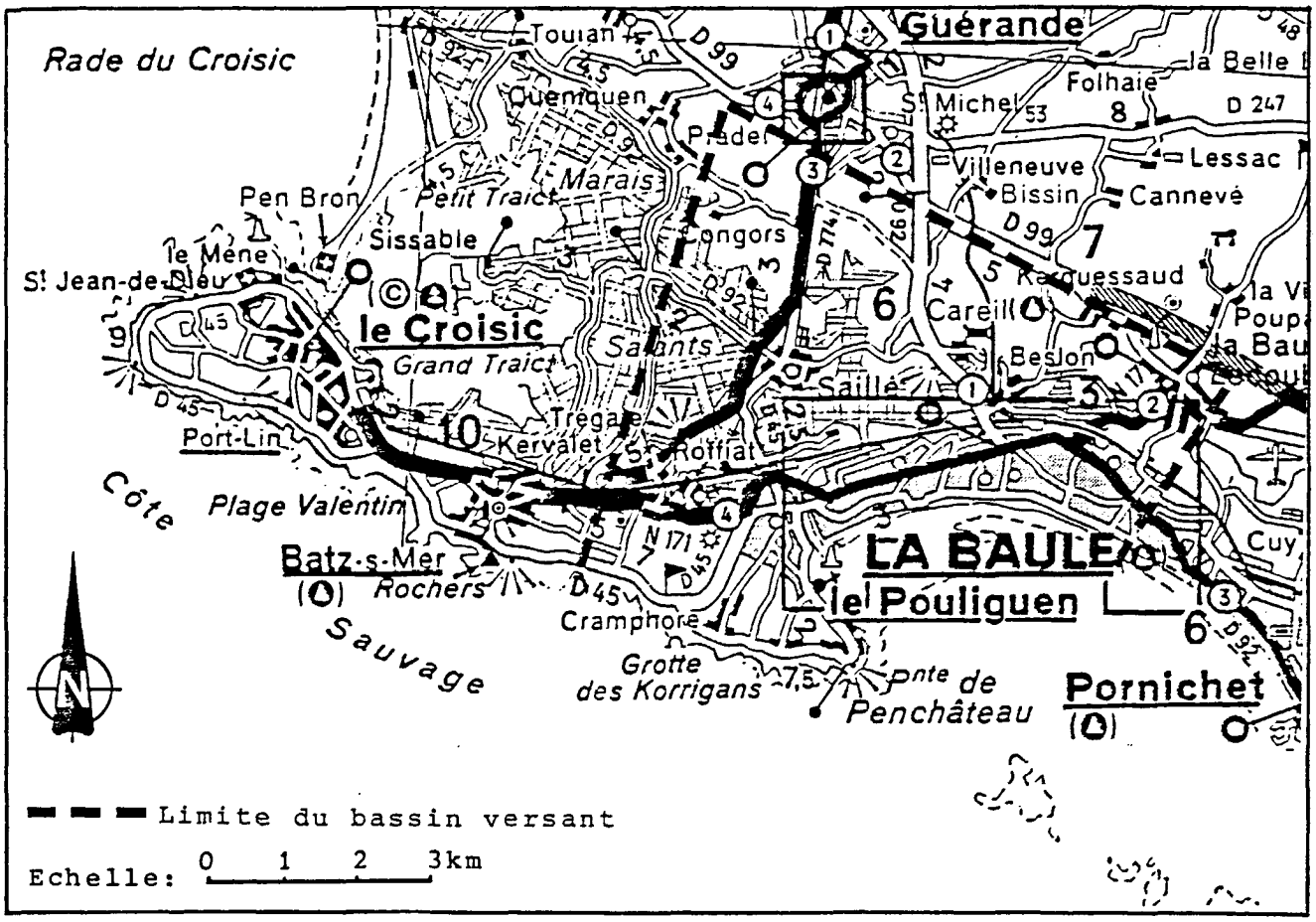


Fig. 1 : Bassin versant de la partie ouest de la baie du Pouliguen.

Cette entité géographique est composée de la commune du Pouliguen, d'une partie des communes de Batz-sur-Mer, Guérande et La Baule-Escoublac, totalisant une superficie de l'ordre de 2 800 ha.

1.1.2. Géologie – Hydrologie – Pédologie

Le substrat du bassin versant (Fig. 2) est composé principalement :

- d'alluvions modernes correspondant à la zone des marais,
- de dunes littorales de La Baule à Pornichet et en limite des communes de Batz-sur-Mer et du Pouliguen,
- de granite sur le plateau de Guérande et sur le littoral de Batz-sur-Mer et du Pouliguen,
- de gneiss granitoïde sur la partie est de La Baule et la pointe de Penchâteau au Pouliguen,
- d'une zone de schistes et micaschistes séparant le granite et le gneiss de La Baule.

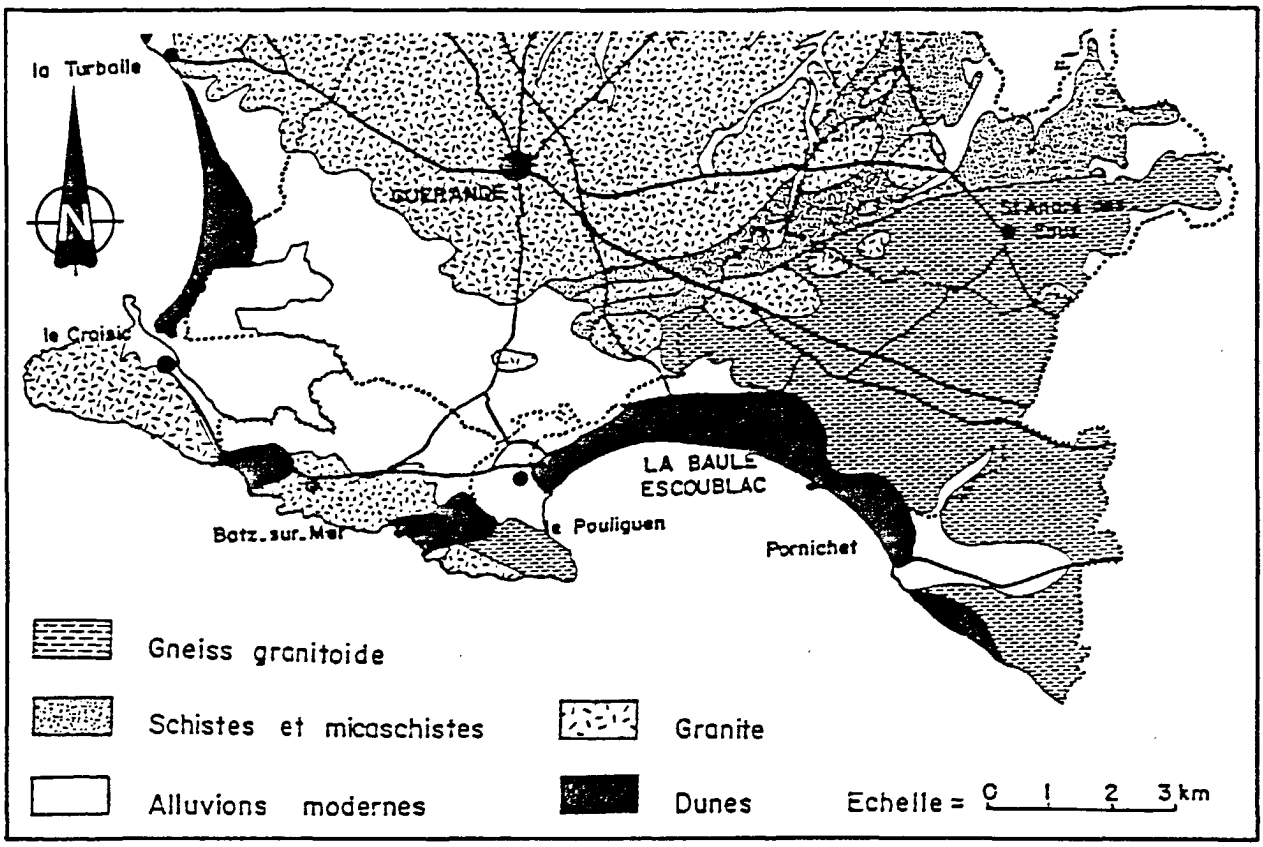


Fig. 2 : Structure géologique du bassin versant. Carte extraite de "Etude Assainissement Autonome Regroupé" (SCE et CSTB, 1989).

Les schistes et les micaschistes sont en général très altérés ; en revanche, le granite est souvent compact et non altéré.

Des nappes phréatiques sont présentes au sein des zones de marais.

Les sols du secteur sont le plus souvent hydromorphes :

- rebord du plateau guérandais : sols bruns moyennement hydromorphes et moyennement profonds,
- versant pentu : sols bruns sains et peu profonds (60 cm),
- bas de pente : colluvions hydromorphes.

1.1.3. Relief - Hydrographie

Le plateau granitique de Guérande culmine à 61 m et domine les marais salants et le cordon littoral, qui est essentiellement rocheux sur la côte sauvage de Batz-sur-mer et du Pouliguen puis sablonneux à La Baule.

La côte rocheuse est découpée en criques et se prolonge en mer, au-delà de la pointe de Penchâteau par les îlots des Evens, de Baguenaud et de la Pierre Percée.

Le réseau hydrographique (Fig. 3) est essentiellement constitué de l'étier du Pouliguen et de ses nombreux étiers secondaires, appelés localement "bondres", draînant les eaux pluviales des hameaux de Beslon, Kercoco, Escoublac situés sur les coteaux de La Baule ainsi que de quelques fermes qui s'y trouvent. L'étier de Stervitz, aujourd'hui canalisé, se jette dans l'étier du Pouliguen à proximité du syndicat d'initiative.

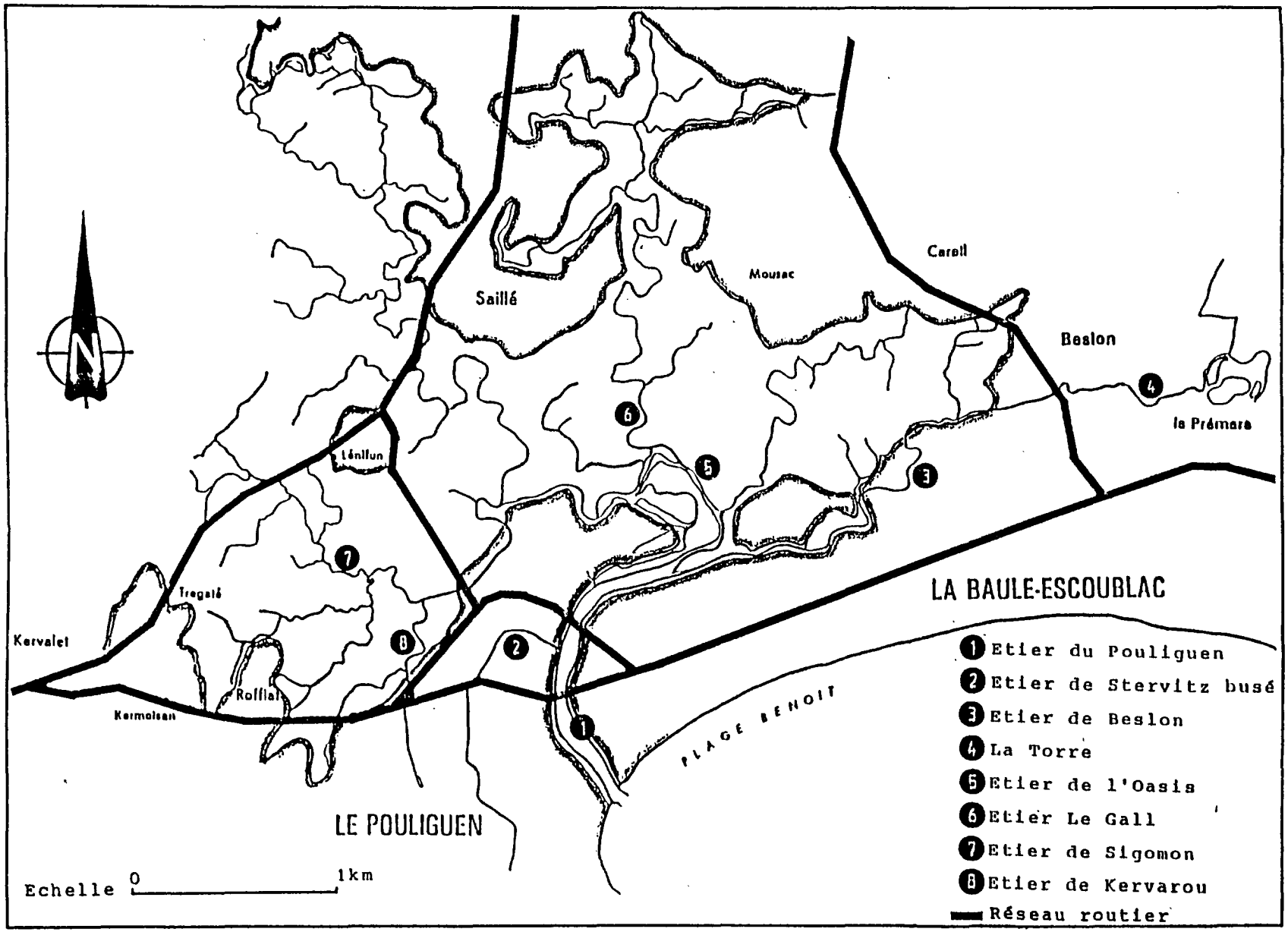


Fig. 3 : Réseau hydrographique de l'étier du Pouliguen.

1.1.4. Vocation et utilisation du milieu

Les coteaux de La Baule et Guérande sont relativement urbanisés sous la forme de nombreux petits hameaux et lieux-dits. L'agriculture, encore présente, est peu développée (pâturages, maïs) et est orientée vers l'élevage.

Les principaux milieux récepteurs du bassin versant sont les suivants :

- les marais salants de Guérande, dont une partie est sur la commune de Batz-sur-Mer, qui sont le siège d'une saliculture importante et d'une petite activité de prégrossissement de palourdes,
- la côte rocheuse riche en criques et gisements naturels de moules,
- la baie du Pouliguen, qui comporte le gisement naturel de coques de la plage Benoît et les gisements de moules des Impairs et sur les îlots des Evens, Baguenaud, Pierre Percée, principalement, ainsi qu'un petit gisement de palourdes à la pointe de Penchâteau,
- les plages du Pouliguen (Nau) et de La Baule-Escoublac (Benoît et La Baule les Pins).

1.1.5. Population – Urbanisation

COMMUNES	POPULATION	
	Permanente	Estivale
BATZ-SUR-MER	2 600	15 à 20 000
GUERANDE	11 500	18 000
LA BAULE - ESCOUBLAC	15 000	100 à 150 000
LE POULIGUEN	4 500	40 000

Tab. 1 : Population permanente et estivale du bassin versant, d'après "Etude Assainissement Autonome Regroupé" (SCE et CSTB, 1989).

Seule une partie de la population de Batz-sur-Mer, Guérande et La Baule est située sur le bassin versant directement concerné par la présente étude. Cette population permanente, environ 15 000 habitants, passe à 110 000 habitants en moyenne l'été.

1.1.6. Assainissement

La Presqu'île Guérandaise est dotée d'un réseau d'assainissement (Fig. 4) centralisant les effluents des communes du SIVOM de Piriac-sur-Mer et du SIVOM de la Région Bauloise sur le site de Livery à Guérande. D'une longueur totale de 375 km, il comprend un réseau gravitaire de 280 km (SIVOM de Piriac-sur-Mer : 60 km, SIVOM de La Baule : 220 km) et un réseau de refoulement de 95 km (SIVOM de Piriac-sur-Mer : 43 km, SIVOM de La Baule : 52 km). Seuls les bourgs sont concernés par l'assainissement collectif public. L'assainissement des autres habitations est généralement laissé à l'initiative individuelle.

La station d'épuration est de conception physico-chimique. Son mode de fonctionnement actuel, précisé par la CISE OUEST, société gérante du réseau d'assainissement et de la station d'épuration de Livery, est le suivant :

Haute saison (juin à septembre)

* floculation au chlorure d'alumine (ou au sulfate d'aluminium) auquel est ajouté un polymère organique cationique
* chloration à l'hypochlorite de sodium et déchloration au bisulfite de sodium
* décantation

Moyenne saison (15 avril à fin mai)

* floculation réduite
* chloration et déchloration réduites
* décantation

Basse saison (octobre à avril)

* simple décantation

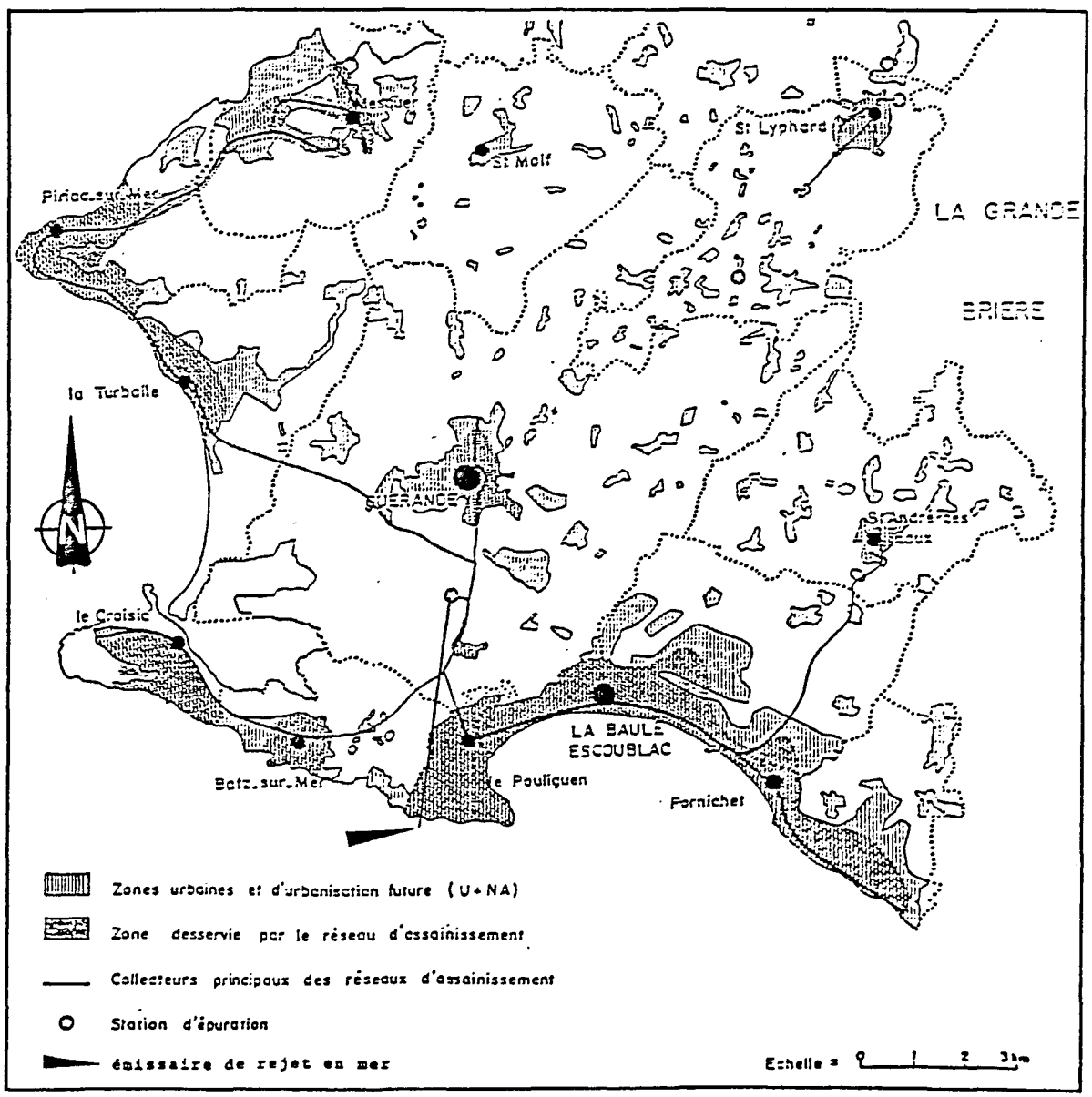


Fig. 4 : P.O.S. et réseau d'assainissement collectif public. Carte extraite de "Etude Assainissement Autonome Regroupé" (SCE et CSTB, 1989).

Un traitement supplémentaire contre les mauvaises odeurs est effectué à certains postes de relèvement à Piriac-sur-Mer (Lerat et l'Etang) et à La Baule (Pavie). Le poste de relèvement de Pavie, très important, est muni d'une téléalarme et d'une bâche tampon de 5000 m^3, et ses effluents sont traités au sulfate ferreux afin de bloquer la formation de sulfure d'hydrogène (H_2 S) très nauséabond.

Après épuration, les effluents sont refoulés en mer par un émissaire de 6 km de long dont l'exutoire se situe en baie du Scal sur la commune du Pouliguen. Posée sur le fond marin, la canalisation, d'un diamètre de 600 mm, est longue de 330 m à partir du poste de refoulement situé en haut de la plage. A son extrémité en mer, l'émissaire repose à environ 6 m de profondeur.

En saison touristique, le traitement au chlore améliore notablement la classification des eaux de baignade situées sous l'influence du rejet de la station d'épuration (SADIR, Com. pers., 1990).

La capacité de traitement de la station de Livery est de 218 000 équivalents habitants. La population permanente concernée est d'environ 55 000 habitants. La population moyenne estivale (Tab. 2) est d'environ 345 000 habitants. Il est donc admis que la capacité de la station d'épuration est dépassée en période de pointe estivale.

Commune	Population permanente	Population estivale moyenne	Raccordés eau potable	Raccordés assainissement	% de raccordés
La Baule	15 000	125 000	12 118	9 173	75,70 %
Le Pouliguen	4 500	40 000	4 173	3 467	83,08 %
Pornichet	8 000	45 000	5 979	4 150	69,41 %
Guérande	11 500	18 000	4 301	1 367	31,78 %
Batz-sur-Mer	2 600	18 000	2 573	1 389	53,98 %
Le Croisic	4 360	18 000	3 509	2 250	64,12 %
Piriac	1 270	20 000	2 182	1 170	53,62 %
Mesquer	1 200	25 000	1 328	952	71,69 %
La Turballe	3 200	33 000	3 264	2 234	68,44 %
Saint-Molf	1 200	2 000	542	0	0,00 %
TOTAL	52 830	344 000	39 969	26 152	65,43 %

Tab. 2 : Suivi des abonnés raccordés aux réseaux eau potable et assainissement (CISE-OUEST, Com. pers., 1989).

Par ailleurs, le fonctionnement du couple réseau d'assainissement/station d'épuration est perturbé par des intrusions d'eaux pluviales et des intrusions d'eaux parasites en provenance de la nappe phréatique.

Une étude réalisée par la Société SAUNIER EAU ET ENVIRONNEMENT (janvier 1984) donne les chiffres suivants :

- en été, le réseau d'assainissement draine à Livery environ 3 500 m^3/jour d'eaux parasites (non compris les eaux pluviales) pour 10 500 m^3/jour d'eaux usées domestiques ;
- en hiver, le réseau d'assainissement draine à Livery entre 7 000 et 9 000 m^3/jour d'eaux parasites (non compris les eaux pluviales) pour 3 200 à 3 500 m^3/jour d'eaux usées domestiques.

Ces chiffres sont le résultat de périodes d'observations de 40 à 60 jours en été et en hiver et résultent de l'application de deux modèles mathématiques, en temps réel. La précision du bilan hydraulique s'établit à moins de 5 % en été et à environ 10 % en hiver. L'extrapolation de ces chiffres, à l'aide de données existantes, à l'année 1982, année de référence, donne pour la station de Livery les résultats suivants :

* volume strictement sanitaire	1 896 220 m^3
* volume d'eaux parasites	2 377 120 m^3
* volume d'eaux pluviales	276 560 m^3
TOTAL	4 549 900 m^3

D'après cette étude, à la station de Livery, 58,3 % des effluents ne sont pas des eaux usées domestiques. Ces chiffres ne prennent pas en compte les by-pass sur le réseau mis en oeuvre par la saturation des collecteurs ou des postes de relevage lors de fortes précipitations. Selon la Société SAUNIER Eau et Environnement, ces valeurs ont déjà été observées sur des études analogues.

Par contre, lors des périodes de sécheresse importantes de 1989 et 1990, on peut considérer qu'il n'y a pas eu d'intrusion dans le réseau d'eaux parasites d'origine pluviale ou provenant des nappes phréatiques. Durant cette période, il n'y a pas eu de surverses connues ni aucun effet grave répertorié. Des travaux achevés en 1988 ont permis d'augmenter la capacité des postes de relevage et notamment de celui de Pavie à La Baule évitant ainsi les by-pass.

1.2. Types de pollution

Les sources de pollution par ordre d'importance sont d'origine :

- agricole (cultures et élevages) : marginale,
- industrielle et artisanale (blanchisserie...) : faible,
- urbaine (eaux usées, décharges, port de plaisance) : importante.

La pollution bactériologique est essentiellement d'origine domestique et provient des rejets ponctuels ou permanents d'eaux usées et des réseaux de rejets pluviaux (dont les fossés) auxquels viennent s'ajouter quelques rejets industriels et agricoles. Les plus importants flux de pollution sont apportés :

- sur la côte rocheuse du Pouliguen par l'émissaire de la station d'épuration de Livery auquel il faut ajouter de nombreux petits rejets ;
- dans la baie du Pouliguen par l'étier du Pouliguen dans lequel se déversent les eaux pluviales de la quasi-totalité du bassin versant, ainsi que les eaux usées des

habitations et hameaux non raccordés de Batz-sur-Mer (Kermoisan et Roffiat), Guérande (Careil), La Baule (Beslon, Kercoco, Escoublac à la route Bleue), les lixiviats de la décharge de La Baule (récemment comblée).

Les eaux usées des hameaux, prétraitées ou non, sont évacuées pour partie sur les parcelles, quand cela est possible, et dans les fossés et réseaux pluviaux. Les nuisances sont très marquées aux exutoires. Les effluents se déversent, plus ou moins rapidement, en fonction des conditions pluviométriques, dans le réseau très dense des étiers secondaires des marais salants puis dans l'étier du Pouliguen. La CISE OUEST, a mis en évidence, au cours d'une enquête visuelle et photographique, des pollutions importantes le long de LA TORRE, petit ruisseau qui se jette dans l'étier du Pouliguen après avoir drainé les eaux pluviales et domestiques d'une bonne partie du secteur de Beslon à Escoublac au sud de la route Bleue.

A cela, il faut ajouter certaines pollutions bactériologiques qui peuvent être apportées par le port de plaisance dans l'étier du Pouliguen (900 places). Divisé en trois parties, il s'étend sur les communes de La Baule et du Pouliguen. et abrite actuellement 700 bateaux sur 900 places disponibles. Les différents types de bateaux ne sont pas répertoriés. Durant certaines périodes estivales et lors de week-end favorables, le chiffre de 10 à 20 % de bateaux habités parait vraisemblable. Sur cette base une moyenne de 15 % se traduit par environ 100 navires habités par une ou plusieurs personnes, dans l'hypothèse peu probable où tous les plaisanciers sont présents en même temps (Com. pers. Capitainerie).

Le port de plaisance dispose des installations sanitaires suivantes : 8 WC, 6 lavabos, 4 douches, qui sont situés à proximité de la capitainerie. L'étendue du port de plaisance ne facilite pas l'accès des sanitaires à l'ensemble des plaisanciers. Le règlement sanitaire départemental impose un plus grand nombre de sanitaires pour 900 anneaux, ainsi que plusieurs implantations compte-tenu de la longueur du port.

La qualité des eaux de l'étier du Pouliguen est suivie mensuellement par la Cellule du Service Maritime et de Navigation de Nantes. Les moyennes mensuelles des résultats microbiologiques sur les prélèvements réalisés de 1988 à 1990 inclus (Annexe 1, p.) fluctuent de 500 à 1 000 CF/100 ml. Dans cette moyenne, il n'est pas tenu compte du résultat exceptionnel de 110 000 CF/100 ml en janvier 1988. Ces résultats traduisent l'impact de l'ensemble des pollutions apportées par le réseau hydrographique amont, ainsi que des rejets urbains se déversant directement dans le port. La pollution bactériologique générée par le port de plaisance est considérée comme marginale. Ces eaux polluées, même diluées en fonction de l'influence des courants de marée et du vent, suffisent à contaminer fortement les coquillages qui concentrent les bactéries, notamment dans la partie ouest de la baie.

La Cellule Qualité des Eaux Littorales du Service Maritime et de Navigation de Nantes, a répertorié l'ensemble des rejets côtiers (juin 1990). Elle signale :

- 47 rejets sur la commune du Pouliguen (Fig. 5). En baie du Scal, un rejet pluvial avec eaux usées est signalé en plus de l'émissaire de la station d'épuration de Livery. A proximité du Syndicat d'Initiative, l'ancien étier de Stervitz, aujourd'hui enterré et canalisé en buse de 1 000 mm pour l'évacuation des eaux pluviales, draine d'importantes quantités d'eaux usées. De plus, trois rejets sont situés à proximité des postes de relèvement d'eaux usées correspondants.

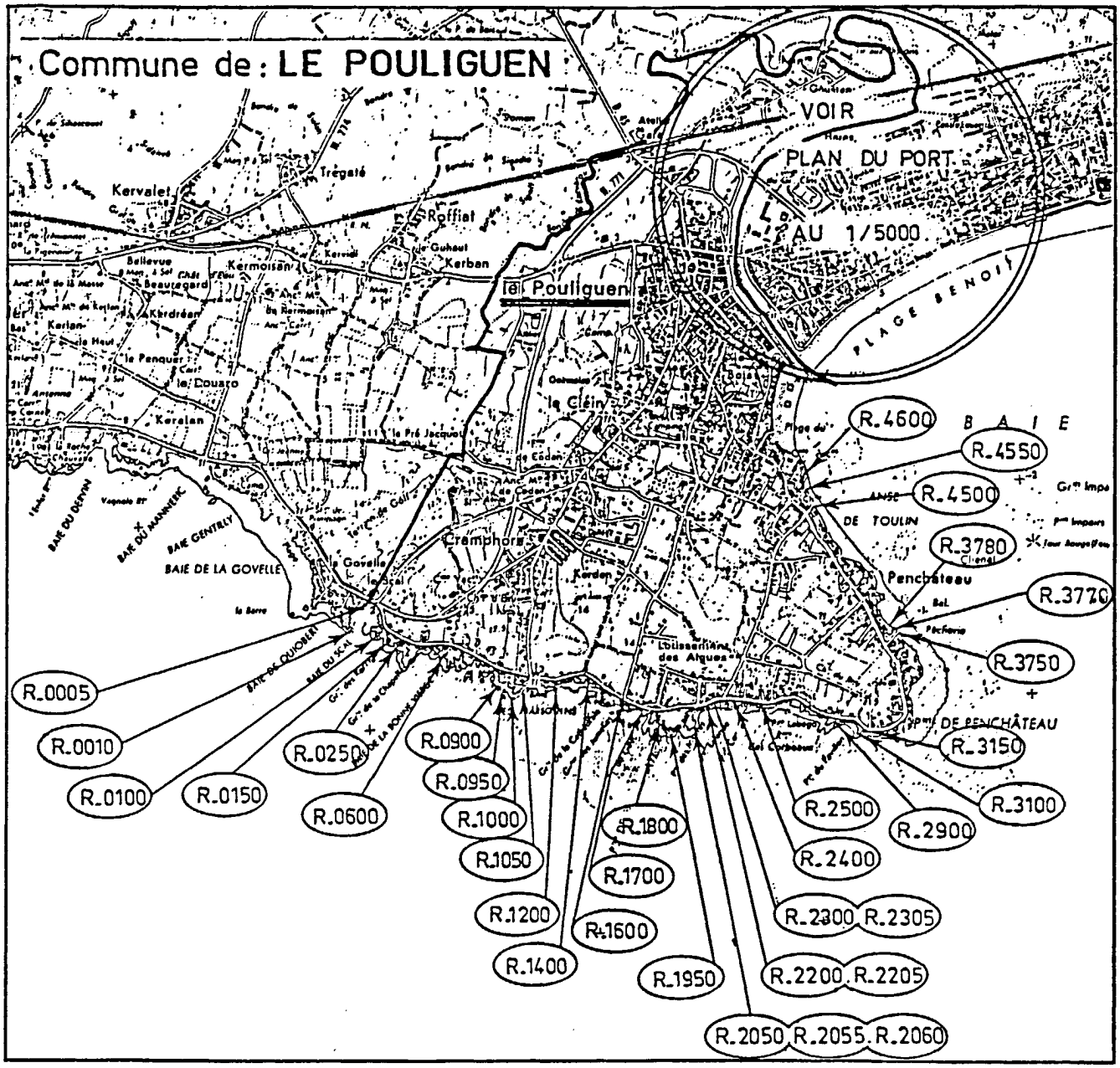


Fig. 5 : Carte des rejets de la commune du Pouliguen extraite du "Répertoire des rejets situés sur le littoral de Loire-Atlantique" (Service Maritime et de Navigation de Nantes, 1990).

- 9 rejets sur la commune de La Baule (Fig. 6). Un certain nombre de diffuseurs d'eaux pluviales existent enfouis dans la plage.

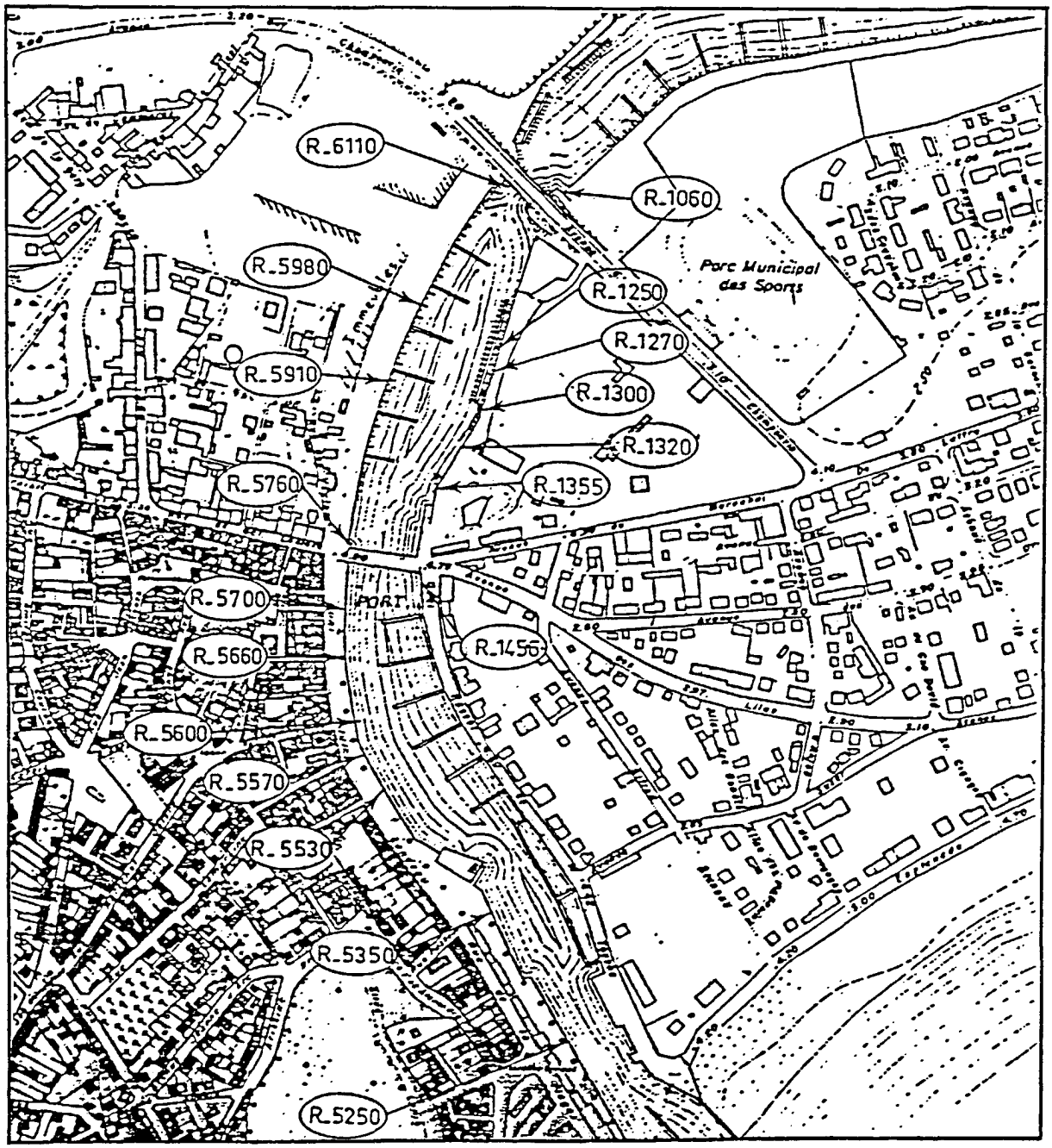


Fig. 6 : Carte des rejets dans l'étier du Pouliguen extraite du "Répertoire des rejets situés sur le littoral de Loire-Atlantique" (Service Maritime et de Navigation de Nantes, 1990).

La capacité des stations de relèvement permet depuis 1988, en principe, d'éviter les surverses des réseaux d'assainissement dans le réseau pluvial lors des pluies abondantes ou des orages violents.

1.3. Courantologie

Ce paragraphe traite des principales conclusions concernant la trajectoire de circulation des eaux de mer dans la baie du Pouliguen et plus au large de l'estuaire de la Loire à la pointe du Croisic. Le lecteur plus intéressé par cet aspect de l'étude se reportera au développement détaillé sur les différents types de courants et les facteurs les influençant (Annexe 2).

L'analyse des résultats des modèles mathématiques (SALOMON et LAZURE, 1988), permet de dégager un certain nombre d'indications.

A l'échelle instantanée les courants sont essentiellement dûs à la marée. Ceux-ci sont faibles ou très faibles généralement en bordure de côte ou au large. Ils sont un peu plus important sur la chaussée des îles, dans les passes.

Le vent est le second moteur des courants. Pour une intensité de 10 m/s, il induit une dérive des eaux de surface de l'ordre de 5 cm/s de direction assez homogène. Près du fond le courant orienté globalement en sens inverse est guidé par la bathymétrie. Chaque accident de relief induit une composante verticale qui assure la continuité des flux déplacés en surface et au fond.

A long terme, l'effet de la marée décroît considérablement. Le calcul de la circulation résiduelle a révélé des courants inférieurs au cm/s pour une marée moyenne, excepté autour des îles et des hauts fonds où il s'agit de mouvements tourbillonnaires auxquels se superpose un lent mouvement vers le nord-ouest depuis l'estuaire de la Loire.

La Figure 7, décrivant les trajectoires de circulation résiduelle de marée entre la baie de Bourgneuf et la pointe du Croisic, résume les principales conclusions :

- l'entrée d'eau marine se fait vers la pointe Saint-Gildas. Une partie pénètre en baie de Bourgneuf et ressort par le goulet de Fromentine, et l'autre repart vers le large en direction du sud-ouest,

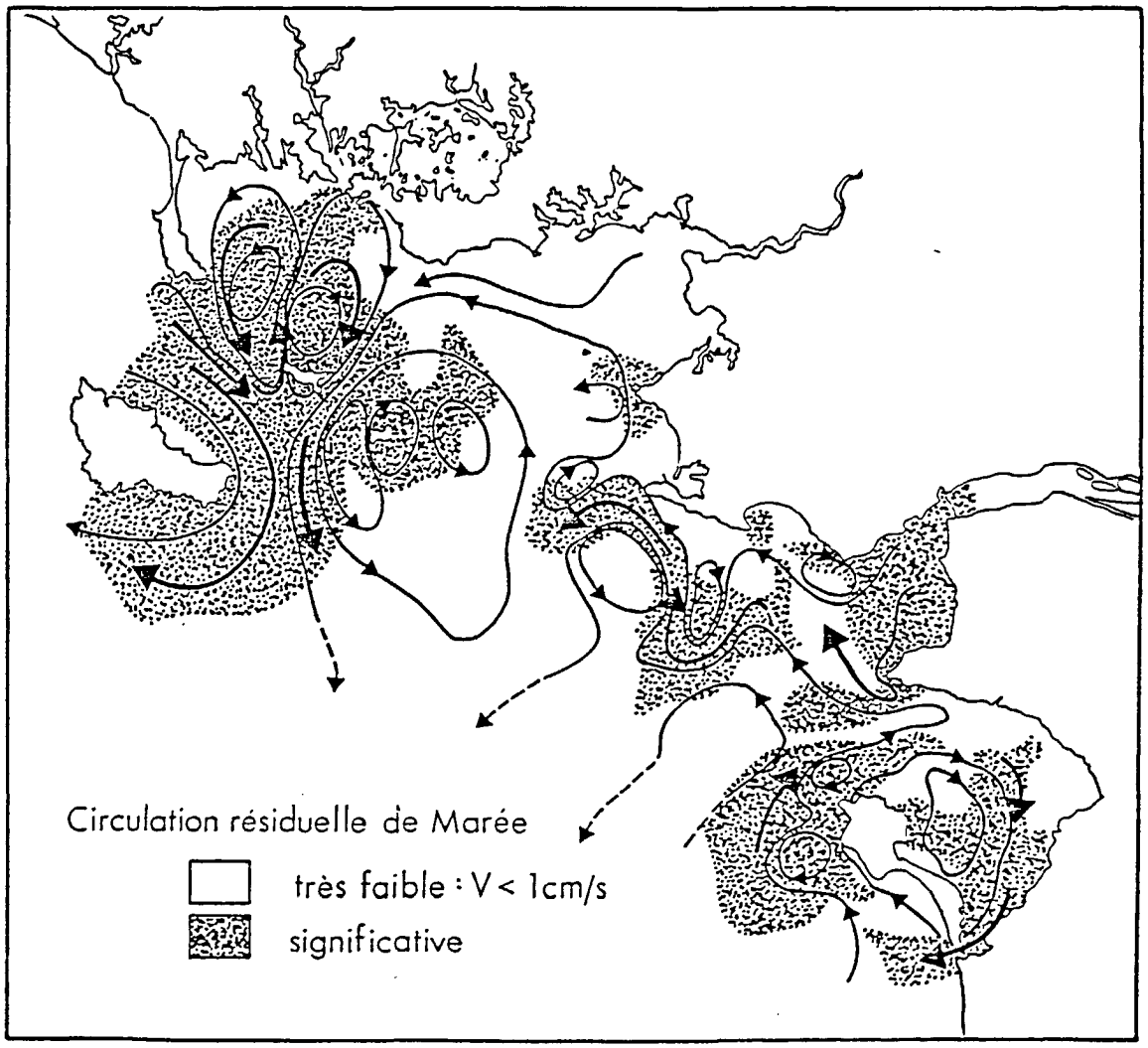


Fig. 7 : Schéma de circulation résiduelle de marée de la Loire à la Vilaine.
(SALOMON et LAZURE, 1988)

- les eaux provenant de l'estuaire de la Loire se dirigent vers l'ouest en décrivant quelques méandres liés à la pointe de Chémoulin, au plateau de la Banche et à celui du Four, en face de la pointe du Croisic. A cet endroit, une partie se dirige vers le sud-ouest au large et une autre fraction plus faible pénètre en baie de Vilaine. Les simulations montrent qu'en période d'étiage et en été cette circulation suffit à expliquer l'essentiel des structures hydrologiques observées.

Dès que le vent souffle, sauf autour des îles où la circulation résiduelle de marée est la plus intense, selon sa force, sa direction et sa persistance, il peut provoquer des mouvements très différents qui dépendent de la profondeur. Dans ces situations, les mouvements d'afflux/reflux à la côte s'associent à des remontées/descentes d'eaux (mouvements verticaux) et provoquent un mélange turbulent (diffusion et dispersion) qui contribue au renouvellement des eaux d'une manière essentielle.

Si le débit de la Loire devient important, la stratification s'établit avec à l'intérieur de l'estuaire la formation d'un front de salinité sur le fond, tandis qu'en surface, le panache d'eau douce se répand sur une mince couche. La force de Coriolis associée aux gradients de densité renforce le mouvement décrit par les trajectoires de circulation résiduelle de la marée seule.

Le panache de la Loire s'oriente d'abord à l'ouest, puis se scinde en deux parties au-dessus du plateau de la Banche. L'une s'oriente vers le sud-ouest alors que la seconde, moins importante, se dirige vers la pointe du Croisic entre le plateau du Four et la côte.

Quelle conclusion est-il raisonnable de tirer concernant les courants de circulation des eaux de mer dans le secteur de la pointe de Penchâteau et de l'ouest de la baie du Pouliguen ?

Les courants instantanés de marée longent la côte sauvage alternativement, tandis que la baie du Pouliguen se remplit au flot essentiellement par la passe entre la pointe de Penchâteau et l'île des Evens (Fig. 8). Aux alentours de la mi-marée, le flot remplissant toute la partie ouest de la baie, décrit un tourbillon autour de la tourelle des Impairs et de la balise de la Vieille. Au jusant les eaux se retirent par la même passe découvrant l'estran bien au-delà des Impairs aux grandes marées, notamment par vents de secteur nord à est.

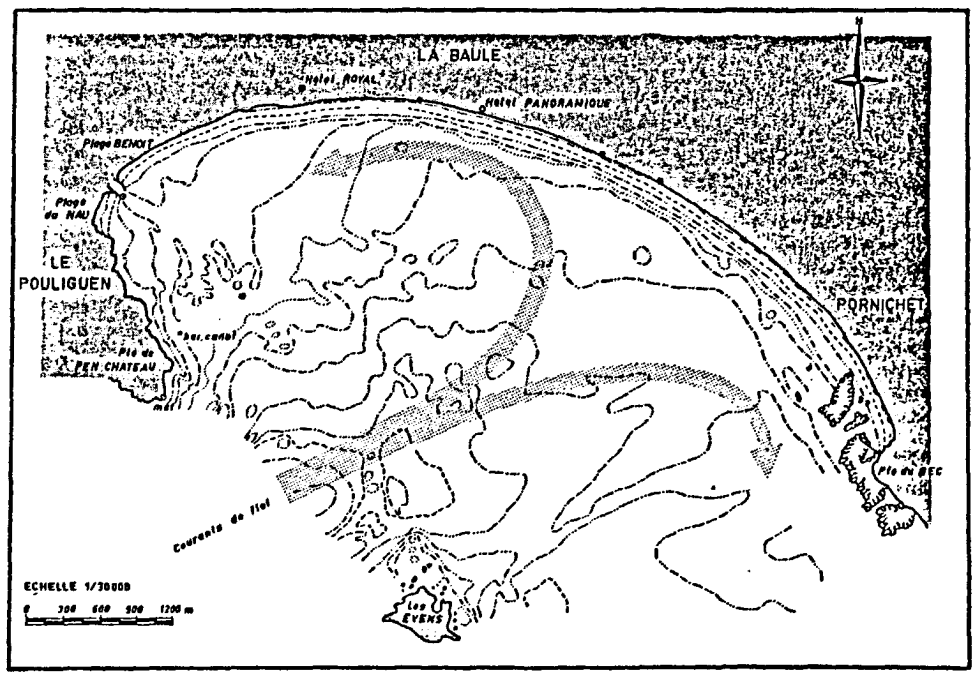


Fig. 8 : Pénétration du flot dans la baie du Pouliguen (BONNEFILLE et al. 1967).

Les courants résiduels de marée très faibles à la pointe de Penchâteau s'orientent en direction de la pointe du Croisic en l'absence de vent. Ce mouvement est renforcé lors des crues de la Loire, notamment en surface et par vents d'est et sud-est. A l'inverse, ces courants résiduels de marée peuvent être annihilés par de forts vents des secteurs nord-ouest, ouest et sud-ouest en surface, et d'autant plus que la Loire est en étiage. En période de crue, les mouvements de marée associés au débit fluvial entraînent le panache de la Loire dans la baie du Pouliguen. C'est ainsi qu'une crue de la Loire en février 1988 a détruit la quasi-totalité du gisement de coques de la plage Benoît, du fait de la dessalure.

Au jusant les eaux polluées de l'étier du Pouliguen s'évacuent très largement mais, après dilution en mer, en face de la pointe de Penchâteau et éventuellement mélange avec des eaux polluées de la baie du Scal lors des vents d'ouest persistants, elles reviennent au flot en partie, et inondent alors la totalité du gisement de coques. Compte-tenu de la faiblesse des courants résiduels à cet endroit (1cm/s), les éléments polluants en suspension dans l'eau, peuvent séjourner pendant quelques jours dans la baie du Pouliguen lors de marées moyennes, et à plus forte raison, lors de mortes-eaux. De même qu'elles polluent les coques de la plage Benoît, ces eaux, en fonction du degré de dilution, de la vitesse des courants résiduels,

contaminent également les coquillages et les plages de la pointe de Penchâteau vers la pointe du Croisic.

En l'absence d'étude précise sur le devenir d'une particule d'eau polluée de l'étier du Pouliguen, à une échelle aussi réduite que la pointe de Penchâteau et l'ouest de la baie du Pouliguen, les hypothèses émises ci-dessus, confrontées aux études très précises sur les courants instantanés, menées par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France et le Laboratoire National d'Hydraulique, semblent réalistes.

II - RISQUES SANITAIRES - HISTORIQUE DU CLASSEMENT DU GISEMENT

2.1. - Risques sanitaires associés à la pollution microbienne des coquillages

Les principaux éléments concernant les polluants microbiens sont extraits du numéro spécial d'Equinoxe consacré à l'environnement littoral (voir référence).

Le littoral, première zone exutoire de tous les apports d'un bassin versant, par l'intermédiaire des rivières et des émissaires de réseau d'assainissement, ou de réseau pluvial, reçoit des bactéries et des virus d'origine terrestre, dont certains sont fortement pathogènes pour l'homme lui-même. Ces agents pathogènes sont d'origine fécale, humaine ou animale.

Les mollusques bivalves filtrent, pour se nourrir, des volumes d'eau très importants (Tab. 3) et concentrent, en les retenant, les éléments en suspension dans l'eau, supports physiques et nutritifs des polluants microbiens. Les micro-organismes pathogènes peuvent être, de ce fait, concentrés dans la chair des bivalves.

Les risques de contamination sont accrus lors de conditions météorologiques défavorables en zone littorale. En effet de fortes pluies augmentent soudainement les apports de polluants microbiens et de matière organique, tandis que le vent agissant sur le clapot, surtout si l'estran est peu profond, favorise la remise en suspension de ces éléments.

COQUILLAGES	VOLUME FILTRE l/h/g mat. sèche	PERIODE
Moules (*Mytilus edulis*)	3.44 ± 1.52 13.33 ± 5.30	entre Juin et Février entre Février et Mai
Coques (*Cerastoderma edule*)	3.50 ± 1.05 8.70 ± 1.93	entre Juillet et Février entre Mars et Juin
Huîtres (*Crassostrea gigas*)	4.03 ± 2.19 5.53 ± 0.35	entre Octobre et Mai entre Juin et Septembre
Palourdes (*Ruditapes philippinarum*)	3.19 + 1.00	toute l'année

Tab. 3 : Variation saisonnière des volumes d'eau de mer filtrés par quelques coquillages (D'après DESLOUS-PAOLI et al., 1987).

2.1.1. Les bactéries

Les bactéries susceptibles de provoquer des maladies chez les invertébrés, les poissons ou l'homme, sont dites pathogènes. La plupart ont une taille comprise entre 1 et 10 micromètres.

Les bactéries pathogènes pour les algues et les animaux marins sont presque toujours d'origine marine. La plupart des agents pathogènes pour l'homme, rencontrés dans les eaux marines, sont des entérobactéries provenant des mammifères (homme, animaux d'élevage, ...)

Le groupe des coliformes fécaux, hôtes normaux du gros intestin de l'homme, est représenté pour 90 % par *Escherichia coli* en milieu marin. On y trouve également les genres *Klebsiella* et *Enterobacter*.

Même si les coliformes fécaux peuvent, dans certains cas, présenter un risque pour la santé humaine, ils sont ici considérés comme des germes tests de contamination fécale, indiquant un risque de présence d'espèces beaucoup plus pathogènes, comme en particulier les salmonelles.

Deux groupes de salmonelles pathogènes peuvent être distingués : les salmonelles responsables des fièvres typhoparatyphoïdes et celles responsables de toxi-infections alimentaires à dominante gastro-entéritique et septicémique. Ce sont de dangereux représentants des milieux marins pollués, mais la dose infectante reste élevée (de l'ordre de un million de germes) sauf pour *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi* A et B (de quelques unités à quelques dizaines d'unités). Le tableau 4 résume la fréquence d'apparition et certaines toxi-infections associées à différents sérotypes.

	Homme	Animaux	Egouts	Eau de Mer	Toxi-infections
Paratyphi A *Paratyphi* B	18 1	19 16	20 1	très rare 1	Fièvre Paratyphoïde
Typhimurium	1	1	2	2	Diarrhée, fièvre, vomissement
Dublin Panama	16 10	2 15	17 6	rare rare	Salmonelloses -
Typhi *Enteridis*	2 4	20 3	15 16	très rare 10	Fièvre typhoïde -

Tab. 4 : Importance des principales espèces du genre *Salmonella* (numéro d'ordre sur 20 espèces) chez l'homme, les animaux, dans les égouts et en eau de mer et toxi-infections associées, d'après Kelterborn 1967 et Moore 1959 in Equinoxe (1990).

2.1.2. Les virus

Certains virus humains peuvent survivre en eau de mer, être ingérés par les mollusques filtreurs et contaminer ainsi le consommateur de coquillages.

De taille extrêmement faible (quelque millimicromètres à 350 millimicromètres), les virus ne peuvent se multiplier que dans une cellule vivante. Ils peuvent infecter aussi bien des cellules végétales ou animales que des bactéries.

Des virus pathogènes pour l'homme, après transit dans les eaux de ruissellement, sont trouvés dans les eaux marines littorales. Leur accumulation par les coquillages filtreurs présente un risque pathogène. La relation "coquillages contaminés par les virus/symptômes cliniques" est, à l'heure actuelle, techniquement très difficile à décrire à partir d'enquêtes épidémiologiques (MIOSSEC, Com. pers.).

Cependant par probabilité décroissante de présence dans les coquillages, (ce qui ne veut pas dire que les seuils infestants sont systématiquement atteints), on peut citer :

- les entérovirus : à l'origine d'épidémies qui atteignent essentiellement les collectivités d'enfants,
- les poliovirus : les formes cliniques peuvent être variées (respiratoire, infectieuse banale, méningée). L'incubation est d'une dizaine de jours.

L'hépatite A, dont la durée d'incubation est d'un mois en moyenne, est un cas particulier. C'est une infection virale majeure pour laquelle la transmission par les coquillages est prouvée.

Historiquement, dans la plupart des cas d'infection, les coquillages consommés crus ou très peu cuits provenaient de zones reconnues insalubres. Les espèces les plus souvent mises en cause sont les clams, les huîtres, les moules, les palourdes, les coques.

2.2. Historique du classement en zone insalubre du gisement de coques

Le gisement naturel émergent de coques a été délimité et classé du point de vue administratif par les Affaires Maritimes le 25 octobre 1978, puis la pêche en a été réglementée par un arrêté du 29 mars 1979. Sa production, qui se situait alors aux alentours de 150 tonnes, était commercialisée par les expéditeurs de coquillages du Croisic et les pêcheurs professionnels.

A partir de 1983, des résultats bactériologiques fréquemment défavorables ont été signalés par les Services Vétérinaires de Rennes et du M.I.N. de Rungis. Ils sont confirmés par ceux obtenus sur des prélèvements bimensuels effectués par nos soins, sur les concessions du Croisic situées dans la zone dite "suspecte" et les mortalités importantes de coques au Croisic en 1983 ont amené les professionnels à développer leurs achats de coques en provenance de La Baule, jusqu'à atteindre 1200 tonnes environ en 1985, année exceptionnelle. Les résultats bactériologiques des prélèvements sur les marchés sont restés défavorables malgré une importante amélioration sur les concessions suspectes du Croisic et un classement en zone salubre en 1987. Le soupçon s'est donc porté sur les coques de La Baule, d'autant que leur part était devenu prépondérante dans les tonnages expédiés du Croisic.

Les premiers résultats de quelques séries de prélèvements ont confirmé cette crainte et les Affaires Maritimes ont demandé à l'IFREMER d'entreprendre un suivi de la salubrité du gisement sur une période suffisamment longue. Ce suivi réalisé sur deux ans a montré des résultats très irréguliers (Annexe 1). Des pics de contamination, au printemps, dépassent 14 400 CF/100 ml, alors que la norme fixée par l'arrêté du 12 octobre 1976 n'autorise aucun dépassement supérieur à 3 000 CF/100 ml.

L'IFREMER a donc proposé, sur la base des résultats obtenus en 1985 et 1986, un classement en zone insalubre du gisement naturel émergent de coques de La Baule et du Pouliguen. La présence de salmonelles *paratyphi* B a été mise en évidence en janvier et mars 1988.

Sans attendre la décision officielle du classement en zone insalubre, la pêche a été réglementée afin de protéger la santé des consommateurs.

Au cours de l'enquête publique et de l'enquête administrative, effectuées dans le cadre de la procédure de classement de zone, la municipalité du Pouliguen ayant émis des

réserves, la commission locale de salubrité des coquillages chargée d'émettre un avis sur les réclamations s'est réunie et au vu de ses conclusions, par arrêté en date du 13 juin 1988, le Ministre Chargé de la Mer a classé en zone insalubre le gisement naturel de coques de la plage "Benoît" situé dans la baie du Pouliguen (Annexe 3).

III - CONDITIONS D'EXPLOITATION DU GISEMENT DE COQUES

3.1. Réglementation

La pêche des coques sur le gisement insalubre de la plage Benoît est réglementée par un arrêté pris par la Direction Régionale des Affaires Maritimes (Annexe 4).

Cette pratique est liée à la délivrance d'une autorisation de pêche sur présentation d'un contrat passé par le pêcheur avec un concessionnaire du Croisic en vue du reparcage des coquillages pour une durée minimale de 30 jours, ou avec une station de purification.

Chaque pêcheur doit inscrire quotidiennement ses captures sur un cahier de pêche. De même, les concessionnaires et les stations de purifications tiennent un cahier de reparcage ou de purification. La pêche est totalement interdite en période estivale.

3.2. Technique de pêche - Production

La technique de pêche est rudimentaire. Les coques sont pêchées au moyen de grattoirs manuels munis de quelques dents, car le sédiment sableux du moyen et bas estran est relativement dur. Ce sédiment composé de sable fin (0,1 à 0,5 mm) et de sablon (0,04 à 0,1 mm) a une granulométrie moyenne de 0,15 mm. La pente de l'estran est extrêmement faible.

Les coques de taille marchande sont collectées dans des seaux en plastiques ou des mannes métalliques, puis mises dans des sacs de jute de 15 à 40 kg. A marée montante, les sacs sont portés à la côte, distante d'un kilomètre environ sur de vieux vélos à gros pneus ou à l'aide de carrioles. Quelques pêcheurs utilisent une embarcation pour transporter leur production à quai dans le port du Pouliguen, quand le lieu de pêche est proche de l'étier ou assez éloigné du rivage.

Au cours de la saison de pêche 89/90, 107 pêcheurs ont récolté 268 tonnes de coques de la mi-septembre 1989 à début mai 1990, date à laquelle le gisement a été épuisé. La pêche se pratique essentiellement lors des marées de coefficient supérieur à 80, soit au maximum 10 jours par mois pour les pêcheurs les plus assidus. La moyenne mensuelle calculée sur 9 mois donne une production de 29.7 tonnes et le chiffre moyen de 43 pêcheurs (Tab. 5).

MOIS/ANNEE	COQUES (tonnes)	PECHEURS
Septembre - 1990	15,7	27
Octobre - 1990	46,6	52
Novembre - 1990	40,2	58
Décembre - 1990	25,6	45
Janvier - 1991	42,4	60
Février - 1991	24,7	48
Mars - 1991	53,9	57
Avril - 1991	16,2	24
Mai - 1991	2,7	13
MOYENNE	29,7	42,6

Tab. 5 : Production de coques et nombre de pêcheurs.

Le cumul des jours de pêche des 107 pêcheurs ayant exercé un jour ou plus est de 3255 jours, soit en moyenne 30,5 jours de pêche par pêcheur. Le tonnage moyen au cours de la saison est de 2 500 kg/pêcheur, soit 82 kg/jour/pêcheur. Ce chiffre relativement faible s'explique par une productivité globale réduite du gisement durant cette saison de pêche. Les 30 pêcheurs les plus assidus ont pêché 172,500 tonnes de coques, soit 64 % du tonnage global, au cours de 66 jours d'activité en moyenne. Lors des grandes marées certains pêcheurs récoltent 200 à 250 kg de coques par jour.

La production de coques de taille marchande en Loire-Atlantique, au cours de l'année 1990, peut être évaluée à 1 616 tonnes et se répartit comme suit (non compris la production de La Baule de janvier à mai 1991) :

- Le Croisic : 1 267 tonnes (cultures sur concessions)
- La Baule : 128 tonnes (gisement naturel émergent)
- Estuaire de Loire : 221 tonnes (gisement naturel non émergent)

IV - ETUDE MICROBIOLOGIQUE

4.1. - Matériel et Méthodes

4.1.1. - Méthode d'analyse

La salubrité des eaux conchylicoles est déterminée sur la base du dénombrement de germes test de contamination fécale présents dans les coquillages vivant au lieu considéré.

Le dénombrement se fait en milieu liquide par la méthode de dilution des tubes dont l'interprétation numérique est donnée par la méthode du "Nombre le Plus Probable" (NPP) de

coliformes fécaux trouvés dans 100 millilitres de chair de coquillages et de liquide intervalvaire, en ensemençant 5 ml dans 3 tubes avec l'échantillon, 3 tubes avec une dilution de celui-ci au 1/10ème et 3 tubes avec une dilution au 1/100ème.

Les premières cultures se font sur bouillon lactosé bilié au vert brillant à 37°C pendant 48 heures ± 2 heures à l'étuve pour les coliformes totaux et les deuxièmes sur un même milieu et sur eau peptonée à 44°C au bain-marie pendant 24 heures ± 1 heure pour les coliformes fécaux.

4.1.2. Normes de salubrité

Les normes de salubrité des zones conchylicoles sont celles définies par l'arrêté du 12 octobre 1976 (Annexe 5).

Afin de tenir compte des fluctuations naturelles dans la charge microbienne des eaux marines, l'évaluation de la contamination s'effectue sur 26 prélèvements échelonnés sur 12 mois consécutifs.

Les normes sont considérées comme respectées, et la zone est classée salubre, si l'on obtient les résultats suivants :

- 21 mesures inférieures ou égales à 300 CF/100 ml (80,8 %)
- 3 mesures comprises entre 300 et 1 000 CF/100 ml (11,5 %)
- 2 mesures comprises entre 1 000 et 3 000 CF/100 ml (7,7 %)
- 0 mesure supérieure à 3 000 CF/100 ml (0,0 %).

4.1.3. Positionnement des stations de prélèvements

La totalité du gisement naturel émergent de coques s'inscrit dans une surface d'environ 160 ha. Cette surface a été déterminée lors d'une visite complète de l'estran au moyen d'une carte au 1/25000ème.

Le nombre de stations de prélèvements est fixé à 10 *a priori*, compte tenu de l'importance du gisement et des possibilités de les effectuer au cours des 26 séries de prélèvements sur 12 mois. Un quadrillage systématique du gisement est réalisé en prenant pour axe central le secteur le plus productif, soit l'axe reliant la côte aux balises des Impairs. La formule $a = \sqrt{S/n}$ donne, pour un carré, un côté a = 400 mètres (S = 160 ha et n = 10 stations de prélèvements). Une station de prélèvement est déterminée dans chaque carré de 400 mètres de côté en position centrale (Fig. 9), dans la limite du gisement.

Après une visite de terrain, lors d'un coefficient de marée de 50, les points de prélèvements les plus au large ont été rapprochés en direction de la côte afin qu'ils puissent être réalisés lors des plus petites marées de vives eaux, notamment lors de conditions de vents défavorables.

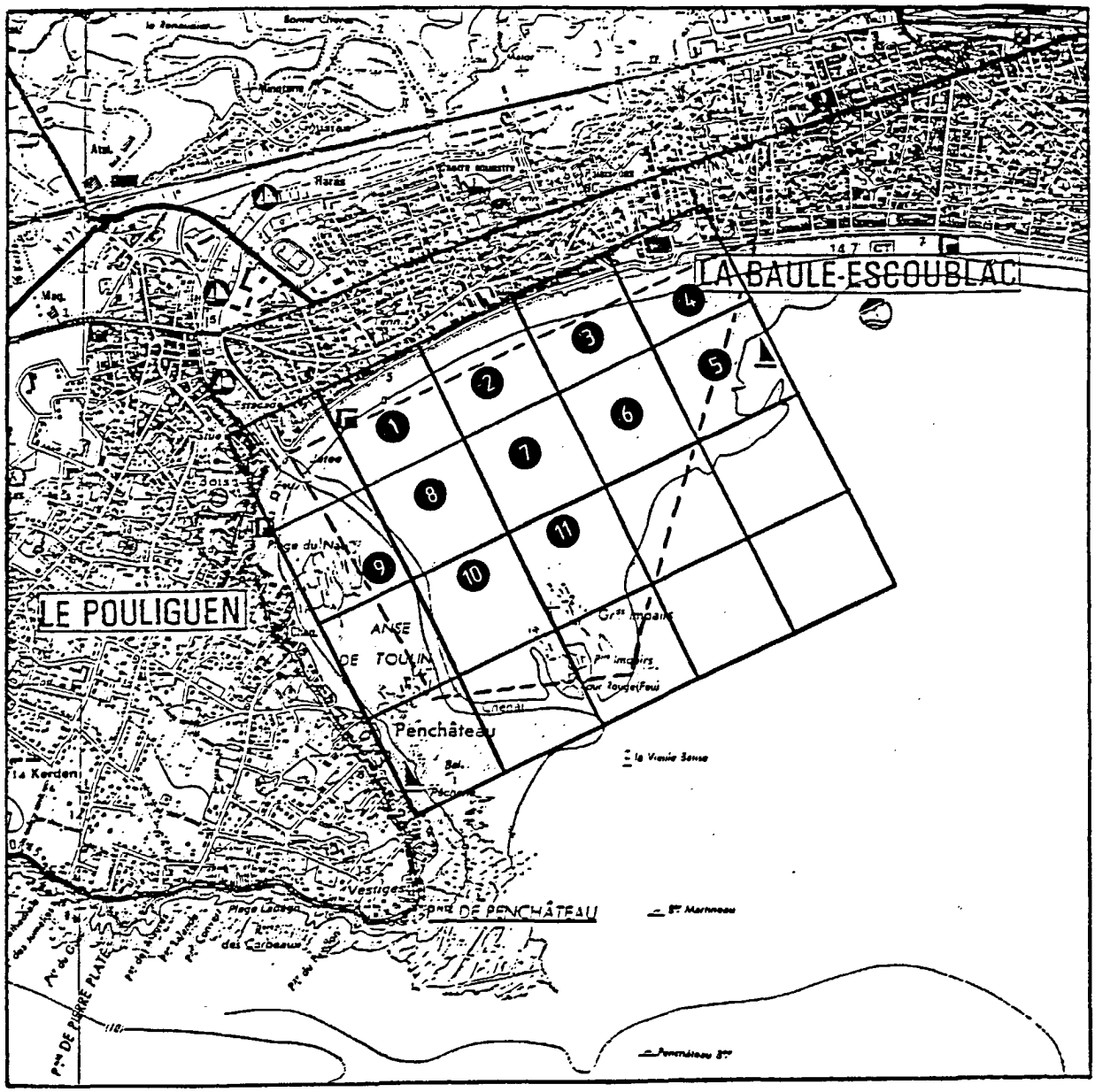


Fig. 9 : Positionnement des stations de prélèvements sur la plage Benoît.

Une station supplémentaire (n° 9, commune du Pouliguen) est retenue en rive gauche de l'étier du Pouliguen dans un secteur où existe un petit gisement très localisé. Au total, 11 points de prélèvements de coques sont déterminés de la manière la plus précise possible en fonction des points de repère fixes situés en bordure du littoral et sur l'estran (balises, bouées) et en mer (îlots).

4.1.4. Prélèvements

Chaque échantillon de 20 coquillages environ est prélevé au moyen d'un grattoir. Les coques sont lavées sur place à l'eau de mer et égouttées sommairement, puis placées dans un sachet numéroté.

Les échantillons ainsi préparés sont transportés dans une glacière réfrigérée au laboratoire, puis analysés dès le lendemain matin.

4.2. Traitement des données - Résultats

4.2.1. Introduction

L'analyse des données recueillies a pour but l'émission d'un avis concernant l'état de salubrité bactériologique de la plage Benoît à La Baule. Elle doit permettre de répondre successivement aux questions suivantes :

- quelles informations peut-on tirer des mesures effectuées sur chaque point, compte-tenu des paramètres hydrologiques et météorologiques ?
- la zone échantillonnée est-elle homogène ou bien peut-on y distinguer des sous-zones ?
- et finalement, quel avis émettre en matière de salubrité ?

La démarche chronologique de ce travail consiste donc en l'examen préalable des données brutes, puis à tenter de dégager une synthèse de l'information recueillie.

Notons que cette étude de zone s'inscrit dans la structure non pérenne du réseau de surveillance microbiologique du littoral français, mis en place par IFREMER (MIOSSEC, 1990). Toutes les mesures effectuées sont rentrées dans la base de données IFREMER, qui recueille également les données du réseau de surveillance phytoplanctonique.

4.2.2. - Méthodes

Le descripteur, paramètre sur lequel va porter l'avis final est un dénombrement microbiologique : la concentration en coliformes fécaux est mesuré dans un broyat de coques (chair + eau intervalvaire). Les données brutes sont fournies en annexe 6 (Tab. A6).

Description des résultats par station

Pour chaque point échantillonné selon le protocole défini plus haut est effectué le calcul des fréquences, et des pourcentages correspondants de mesures appartenant aux classes définies par l'arrêté de 1976 (Annexe 5). L'évolution de la contamination par point est également représentée.

Classification

Dans le but de décrire d'éventuels regroupements de stations sur la zone couverte par l'échantillonnage, une classification hiérarchique ascendante est effectuée. La classification utilisée est basée sur la méthode de Ward décrite dans le manuel d'utilisation du logiciel UNISTAT, complément en analyse multivariée du logiciel STATGRAPHICS. Il s'agit de calculer des distances entre stations ou entre stations et noeuds (groupement de stations) ou entre noeuds et noeuds. Ainsi, l'algorithme réalise des agrégations successives, en fonction des distances calculées sur la matrice des observations (26 dates pour 11 stations échantillonnées, soient 286 observations). Divers ouvrages pourront être consultés utilement pour plus de renseignements sur la méthode (DAGET, 1976 ; LEBART *et al.*, 1982).

Influence de paramètres hydrologiques et météorologiques

La classification est une méthode descriptive, mais non analytique. Les paramètres hydrologiques et météorologiques dont nous disposons, peuvent permettre d'illustrer les

regroupements effectués. Il s'agit alors d'identifier les stations dont les mesures de contamination sont corrélées, en particulier à la variable "pluie", et à la variable "vent" (direction et/ou force). Dans ce but, une analyse factorielle des correspondances est effectuée. Cette méthode, déjà utilisée dans une étude de la baie de Saint-Brieuc (POULOUIN, 1990), est décrite en détail dans divers ouvrages, dont LEBART *et al.* (1982). Elle permet de fournir une représentation synthétique d'un ensemble de valeurs numériques, sous la forme d'un tableau de contingence (Annexe 6, Tab. 8 et 9). C'est une technique de réduction du nombre de lignes (ou colonnes) d'un ensemble de données en trouvant des combinaisons linéaires de ces lignes (ou colonnes) expliquant la majeure partie de la variabilité.

Rappelons que la méthode nécessite une bonne répartition des fréquences entre les différentes modalités d'une variable : ceci expliquant en partie les découpages effectués. Les codages suivants ont été utilisés.

Variable indicatrice (3 modalités) :

CF 1 : NPP < 300 CF/100 ml

CF 2 : 300 < NPP < 1 000 CF/100 ml

CF 3 : NPP > 1 000 CF/100 ml

Variables descriptives (8 modalités) :

1. – Précipitations cumulées sur cinq jours

PL 1 : 0 mm

PL 2 : < 25 mm

PL 3 : > 25 mm

2. – Vitesse du vent

VF 1 : < 10 m/s

VF 2 : > 10 m/s

Il s'agit du vent moyen maximum journalier (moyenne calculée sur 6 minutes).

3. – Direction du vent

Ici, le découpage est réalisé en fonction de l'effet supposé du secteur de vent sur le transport des eaux polluées, compte tenu de la localisation des rejets et de l'orientation de la plage Benoît. La direction est obtenue à partir de la rose des vents de 36 (Fig. 11).

VD 1 : de 27 à 6

VD 2 : de 7 à 20

VD 3 : de 21 à 26

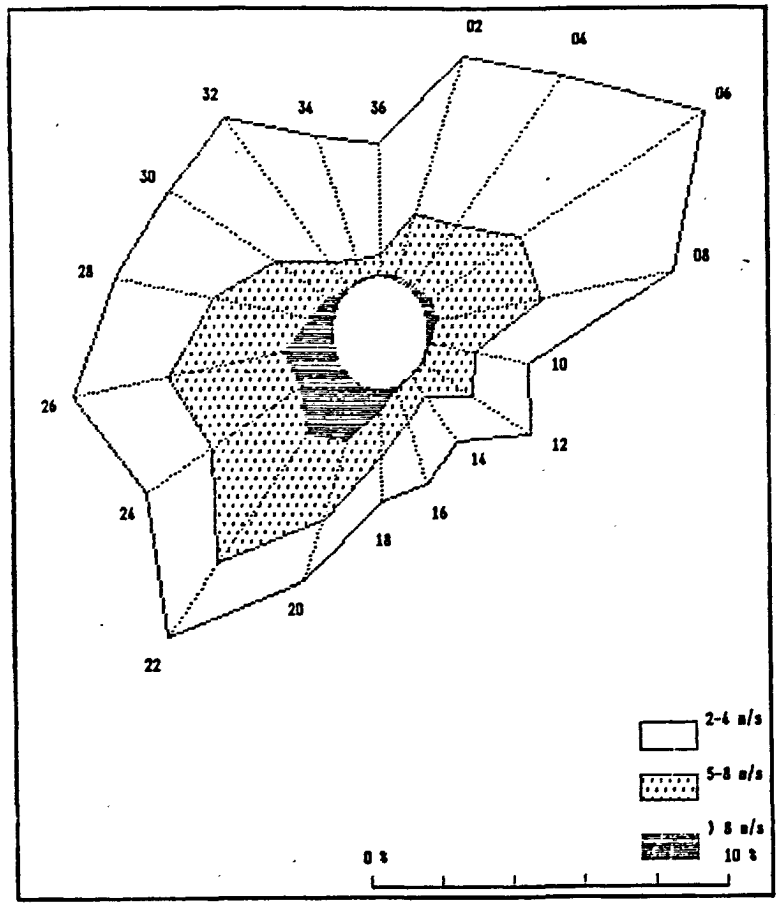


Fig. 11 : Rose des vents. Période 1989 – 1990 (juillet à juillet). Météorologie Nationale – Station de Saint-Nazaire.

Test d'homogénéité spatiale

Le test de Friedman est, en quelque sorte, l'homologue non paramétrique d'une analyse de variance à deux facteurs croisés, ici le facteur "date de prélèvement" et la localisation spatiale. Les hypothèses de normalité et de stabilité de la variance ne sont pas requises. La méthode nécessite que pour chaque date d'échantillonnage, le classement des stations soit réalisé, dans l'ordre (arbitraire) des concentrations en coliformes fécaux décroissantes. Une valeur statistique est ensuite déterminée à partir du tableau des classements (Annexe 6, Tab. A7) ; sa comparaison à une valeur tabulée permet finalement de décider ou non, de la différence globale entre stations, et pourrait ainsi être interprétée comme un test de l'homogénéité de l'aire totale échantillonnée. Ce test est rapporté dans divers ouvrages traitant de statistique non paramétrique ; citons, par exemple, SIEGEL (1956).

Synthèse des résultats

La moyenne géométrique des résultats bruts est effectuée, par date, pour la zone ou les zones homogènes déterminées plus haut. La distribution de fréquence des valeurs ainsi délimitées est confrontée aux propositions admissibles des valeurs guides de l'arrêté de 1976. La moyenne géométrique peut ensuite être comparée à d'autres estimateurs de valeur centrale telles que la médiane ou le résultat NPP somme. Ce dernier est obtenu en additionnant les nombres de tubes positifs du test de fermentation, pour les 11 stations à chaque date. Ainsi, on

obtient un nombre somme de tubes positifs pour 3 dilutions et 33 tubes (11 fois 3 tubes). Le NPP somme doit, en théorie, être utilisé dans le cas d'un échantillon dans lequel la distribution des bactéries est supposée aléatoire (PROST et HUGUES, 1982). Un programme informatique (BELIAEFF, publication en cours) fournit l'estimation du nombre le plus probable de bactéries correspondant, ainsi que l'intervalle de confiance de cette estimation.

4.2.3. – Résultats

La contamination bactériologique par station

La figure 12 présente les fréquences des mesures, obtenues à chaque station, appartenant aux quatre classes définies par l'arrêté de 1976. Les figures correspondant à l'évolution de la contamination pour chacun des 11 points échantillonnés, et pour les 26 dates de prélèvements, sont données en Annexe 6 (Fig. A15 et A16).

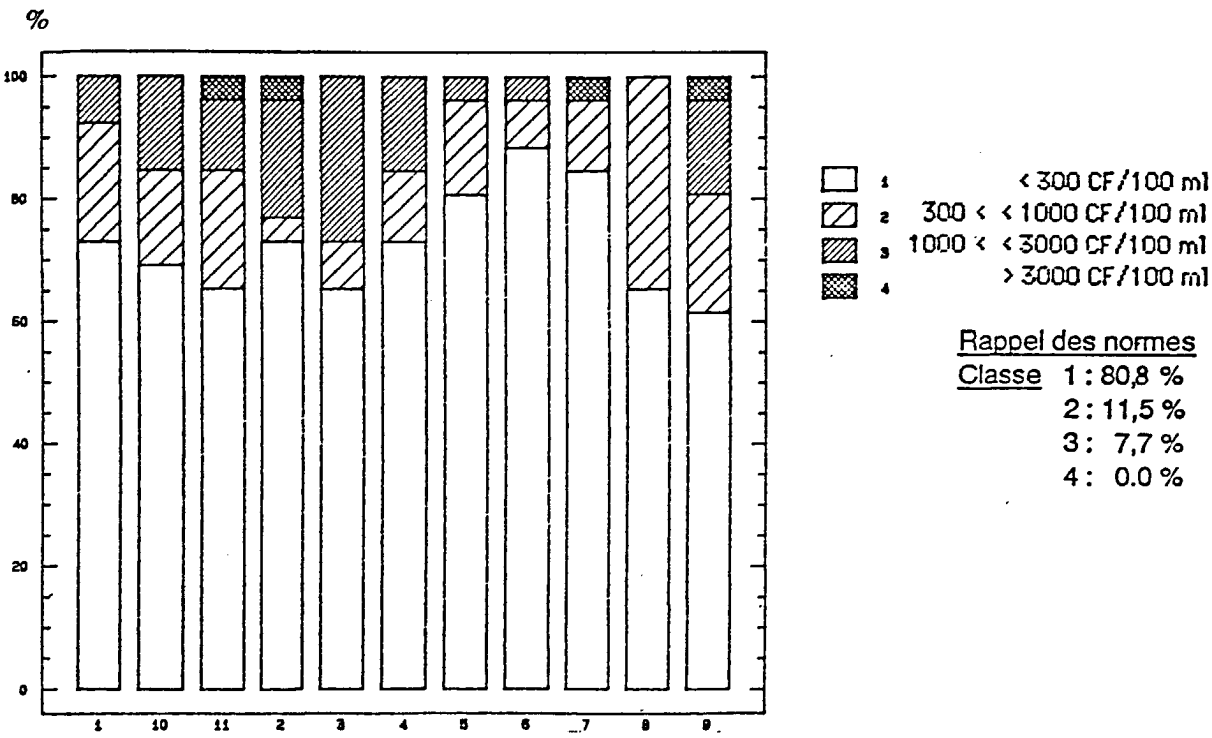


Fig. 12 : Histogramme de fréquences relatives des classes de contamination définies par l'arrêté de 1976, pour chaque station.

Classification

Le résultat de la classification ascendante hiérarchique peut s'exprimer sous la forme d'un arbre ou dendrogramme (Fig. 13) permettant de visualiser les agrégations successives réalisées par l'algorithme. Par exemple, les stations 6 et 7 constituent le premier regroupement, témoignant de la différence minimale entre les résultats de ces deux stations, date par date. Ces deux points sont situés à proximité sur la plage Benoît. La station 9 est l'objet de la dernière agrégation et apparaît détachée par l'algorithme. Cette station est la seule qui soit située à l'ouest du chenal de l'étier du Pouliguen (Fig. 9). Remarquons que, sans contraintes de contiguïté spatiale, l'algorithme regroupe des stations voisines, hormis pour le groupe constitué par les stations 2 et 10.

Fig. 13 : Classification ascendante hiérarchique : dendrogramme.

Analyse factorielle des correspondances

Les stations 9 et 10 ont été retenues pour l'application de la méthode car elles bordent l'étier du Pouliguen. Elles sont donc particulièrement soumises à l'influence des précipitations.

Les figures 14 et 15 sont l'illustration des résultats de l'analyse factorielle des correspondances effectuées pour, respectivement les stations 9 et 10. Sur ces graphiques, sont représentés simultanément, les positions des variables indicatrices (CF1, CF2, CF3) et des variables descriptives (PL1, PL2, PL3, VF1, VF2, VD1, VD2, VD3). La direction du vent est le paramètre contribuant le plus à la construction des axes (Annexe 6, Tab. A10 et A11).

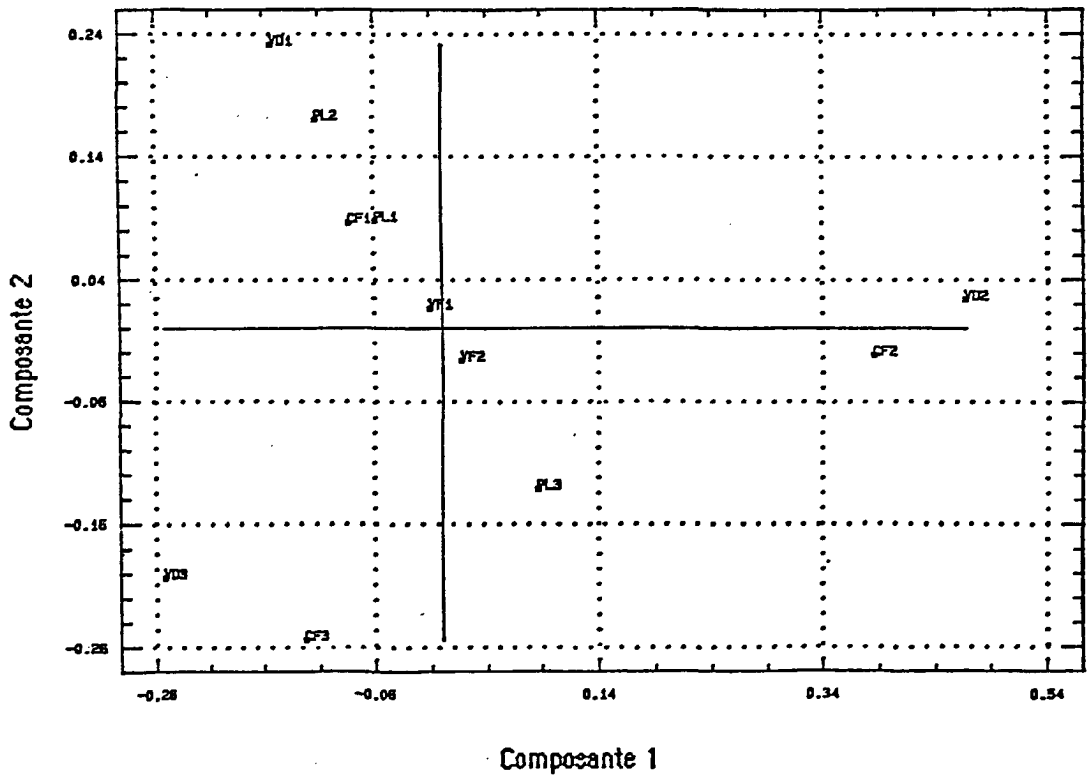


Fig. 14 : Représentation simultanée des variables indicatrices (colimétrie) et des variables descriptives (paramètres météorologiques) dans le plan défini par l'analyse factorielle des correspondances – Station 9.

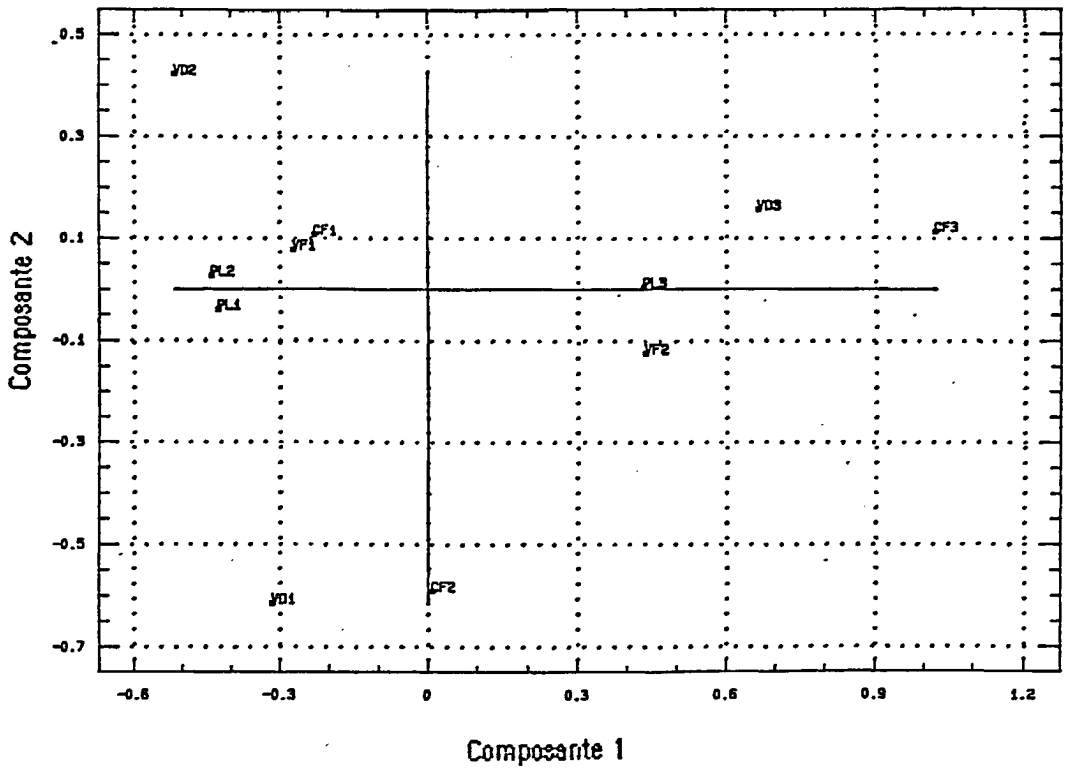


Fig. 15 : Représentation simultanée des variables indicatrices (colimétrie) et des variables descriptives (paramètres météorologiques) dans le plan défini par l'analyse factorielle des correspondances – Station 10.

Quelques résultats ressortent de l'observation de ces deux graphiques :

* Station 9 : CF1 jouxte PL1 ; en cas de faibles pluies, on ne constate pas de fortes contaminations. La modalité descriptive située le plus près de CF3 est VD3 ; cela signifie que les fortes contaminations sont accompagnées de vent de secteur sud-ouest.

* Station 10 : Le même résultat est observé en ce qui concerne les faibles contaminations. CF3 est à proximité d'un groupement formé par VD3, PL3 et VF2. Plus nettement que pour la station 9, les contaminations élevées sont concomitantes aux forts vents de sud-ouest ainsi qu'aux précipitations importantes. Ceci est étayé par le graphique de l'évolution comparée de la contamination fécale au jour j et du cumul des précipitations sur cinq jours (j – 4, ..., j), présenté sur la figure 16. La concordance des pics de contamination avec ceux des précipitations, apparaît ici nettement, contrairement aux autres stations, pour lesquelles la même représentation a également été étudiée. Le cumul sur 5 jours permet de tenir compte du déphasage entre les précipitations et leurs effets comme le montrent les essais réalisées par ailleurs avec un nombre de jours inférieurs.

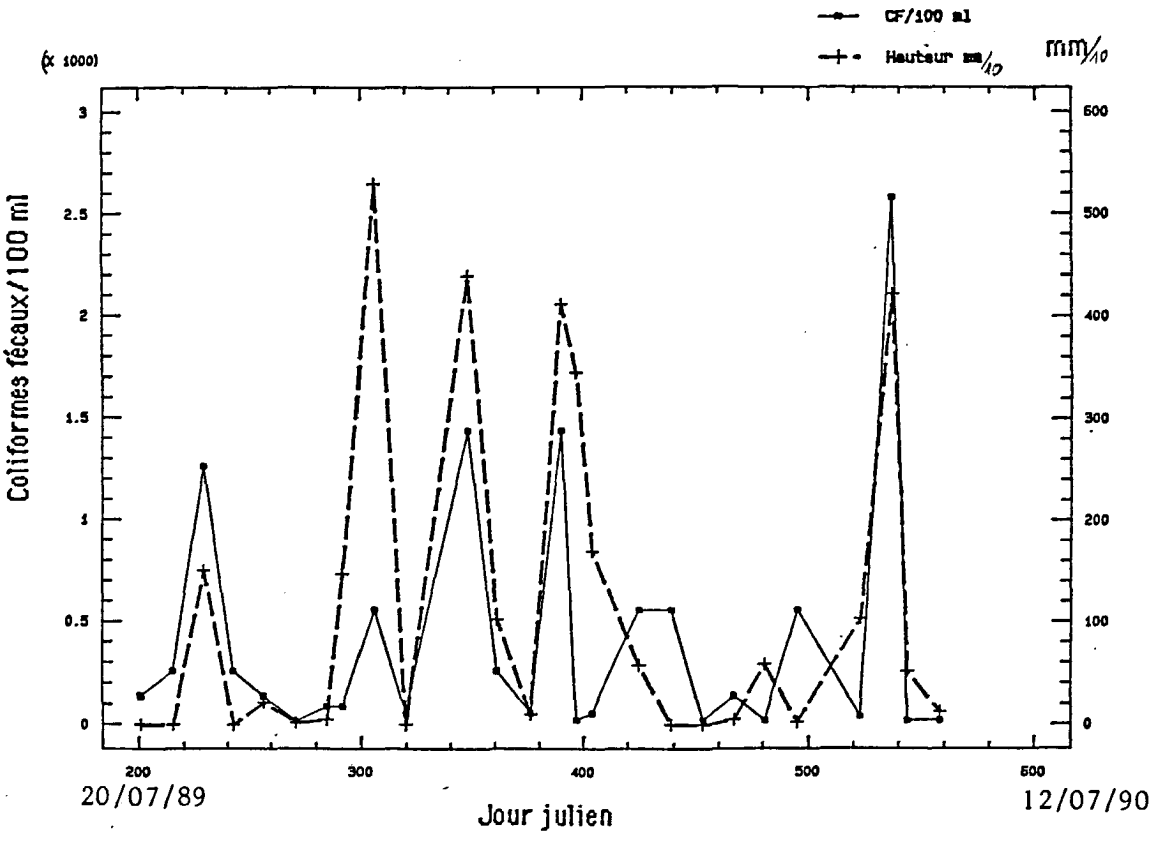


Fig. 16 : Evolutions comparées de la contamination fécale et des précipitations cumulées sur cinq jours – Station 10.

Test d'homogénéité spatiale

Après calcul, le test de Friedman effectué se révèle non significatif (p = 0,27) : on ne peut donc mettre en évidence une différence globale de contamination entre les différentes stations. Il s'agit certainement d'un manque de puissance du test imputable à la variabilité des résultats obtenu à chaque stations au cours de l'année d'échantillonnage. Notons, à ce sujet, qu'une procédure paramétrique d'analyse de variance a été tentée, après transformation logarithmique des données et simulation de résultats pour une station donnée à une date donnée. Elle montre qu'il existe une forte interaction entre le facteur "date" et le facteur "station". Ceci revient à dire que la différence de contamination entre deux stations diffère sensiblement selon la date (et vice-versa). Ce résultat sera discuté plus loin.

Résultats synthétiques de contamination de la zone

Le tableau ci-dessous présente les résultats en coliformes fécaux, obtenus à chaque date de prélèvement, correspondant à trois estimateurs différents : la moyenne géométrique, la médiane, l'estimateur du maximum de vraisemblance (Nombre le Plus Probable). En faisant

abstraction de l'incertitude attachée aux estimations (intervalles de confiance), et se référant strictement aux valeurs guide précédemment mentionnées, on constate que seule la moyenne géométrique conduit à déclarer la zone insalubre, conformément au texte de 1976. Ceci doit nous amener à examiner en discussion le fondement probabiliste de ce texte, ainsi que les notions de "zone" et de fréquence d'échantillonnage.

Coliformes fécaux / 100 ml de broyat			
Date de Prélèvement	Moyenne Géométrique	Médiane	NPP +/- IC (95 %)
20/07/89	332*	258	199 +/- 36
04/08/89	269	258	243 +/- 50
17/08/89	1 283**	1 440**	780 +/- 131*
31/08/89	69	90	70 +/- 13
14/09/89	410*	258	380 +/- 88*
28/09/89	46	55	39 +/- 9
12/10/89	144	138	116 +/- 22
19/10/89	41	55	33 +/- 8
02/11/89	92	138	85 +/- 17
16/11/89	56	55	53 +/- 11
14/12/89	1 195**	2 580**	676 +/- 121*
27/12/89	328*	258	308 +/- 71*
11/01/90	198	138	152 +/- 29
25/01/90	186	168	132 +/- 23
01/02/90	29	22	26 +/- 7
08/02/90	57	55	53 +/- 11
01/03/90	304*	558*	221 +/- 41
15/03/90	367*	258	335 +/- 78*
29/03/90	52	55	53 +/- 12
12/04/90	77	126	71 +/- 14
26/04/90	211	138	112 +/- 20
10/05/90	385*	558*	266 +/- 52
07/06/90	60	37	55 +/- 11
21/06/90	312*	450*	217 +/- 40
28/06/90	18	18	2 +/- 2
12/07/90	23	18	11 +/- 4

Tab. 6 : Moyenne géométrique, médiane, NPP (avec intervalle de confiance à 95 %) des valeurs obtenues sur les 11 stations pour les 26 dates de prélèvement.
* 300 CF< <1 000 CF/100 ml * * 1 000 CF< <3 000 CF/100 ml.

La figure 17 représente les pourcentages de fréquences des mesures appartenant aux classes définies par l'arrêté de 1976 et regroupées par saison. L'hiver est la saison présentant la moins forte contamination, alors que la période estivale est la moins "salubre" : 34 % des mesures sont supérieures à 300 coliformes pour 100 ml de broyat.

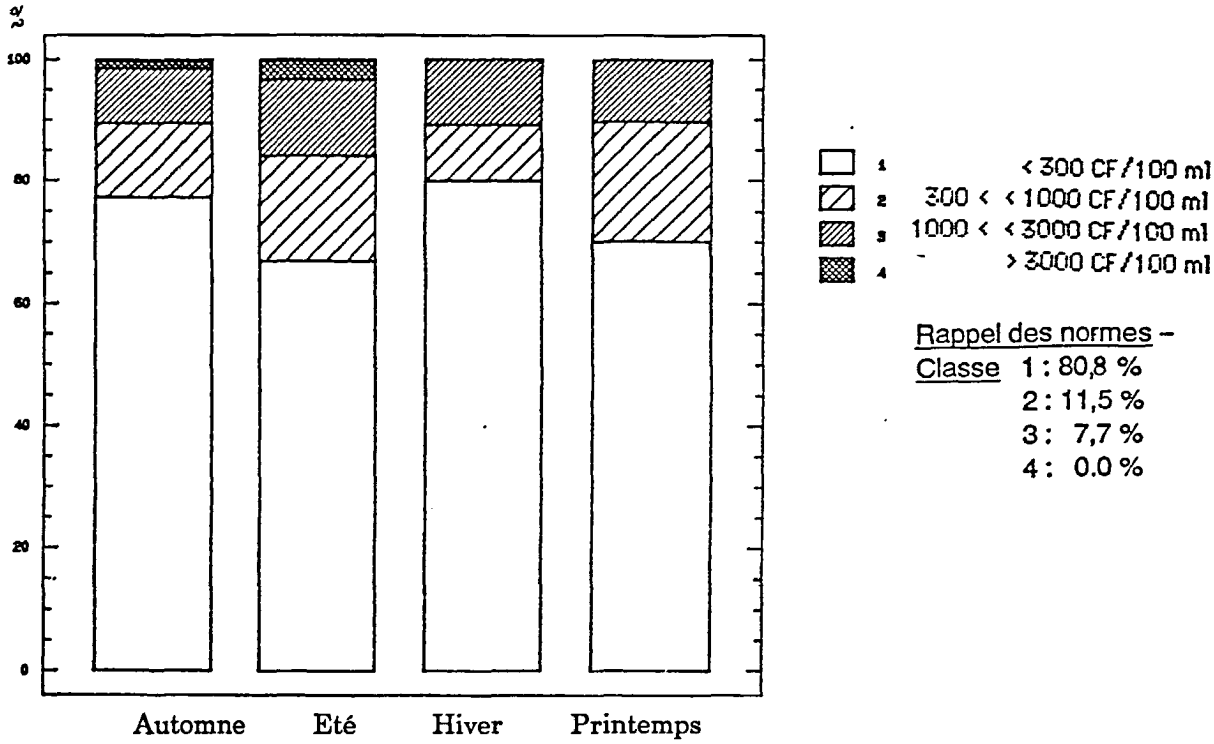


Fig. 17 : Histogramme de fréquences relatives des classes de contamination définies par l'arrêté de 1976, par saison.

4.3. Discussion

L'observation des résultats obtenus doit conduire finalement à l'émission d'un avis clair et précis quant à l'état de salubrité bactériologique de la plage Benoît, devant ou non mener à son maintien en zone insalubre. Il paraît important aux auteurs que la justification de la décision s'accompagne d'une réflexion préalable sur l'utilisation des textes réglementaires, tel que l'arrêté du 12 octobre 1976, qui définit les normes de salubrité d'une zone conchylicole (Annexe 5). Ainsi, la stratégie d'échantillonnage à mettre en place ainsi que l'exploitation des données afférentes sont discutées ci-après. Le bien fondé statistique du texte est ensuite examiné.

4.3.1. Fréquence des prélèvements

Concernant l'échantillonnage temporel, le texte fait mention de 26 prélèvements. Ce texte n'indique pas clairement que le pas doit être rigoureusement de 14 jours. Néanmoins, les laboratoires peuvent être conduits en raison de contraintes opérationnelles, ou bien pour être en concordance avec l'exploitation des gisements, à échelonner les prélèvements aussi régulièrement. Le choix d'un tel plan systématique peut présenter un inconvénient majeur si le descripteur observé, ici le niveau de contamination, est **en phase** avec un autre phénomène (SCHERRER, 1983), ce qui est le cas avec la périodicité de la marée. En effet, les coques sont alors systématiquement prélevées soit aux mortes eaux, soit aux vives eaux. Cette concordance peut introduire un biais dans la mesure de la salubrité. Une étude sur l'Elorn (POMMEPUY *et al.*, 1987) montre que de forts coefficients induisent une remise en suspension des sédiments, pièges à bactéries, entraînant une élévation importante de la densité bactérienne dans les eaux. Sans informations préalables sur la zone, et si les contraintes opérationnelles le permettent (accessibilité sur le site aux faibles coefficients), une solution serait

d'échantillonner à une semaine d'intervalle dans chaque mois. (Exemple : 09/01, 16/01, 09/02, 16/02,..., 09/12, 16/12).

Les mois seraient alors échantillonnés régulièrement, avec simplement une répartition intra-mensuelle différente des prélèvements. Dans cette étude, le pas n'a pas été scrupuleusement de 14 jours. Nous affirmons donc que cela ne constitue pas un inconvénient.

4.3.2. - Couverture spatiale

Il est clair que, sans information préalable, l'échantillonnage doit couvrir la totalité de l'aire concernée par l'étude de zone, ce qui a été respecté dans cette étude. L'arrêté ne donne pas d'indications concernant les modalités d'échantillonnage, en particulier le nombre de stations de prélèvement et le type de plan d'échantillonnage à pratiquer. Ceux-ci sont bien sûr fonction des caractéristiques de la zone. Une couverture systématique de la zone (onze stations) a été envisagée (Fig. 9), permettant la détermination éventuelle de sous-zones plus homogènes dans le cas d'un secteur complexe, hétérogène. La méthode de classification utilisée, de par l'algorithme sous-jacent, met toujours en évidence des regroupements de stations (Fig. 13). Ceci n'est pas équivalent à la définition de sous-zones aux limites précises. Nous ne montrons pas ici de différences significatives entre les niveaux moyens de contamination des stations. SIEGEL (1956) indique que la procédure non paramétrique utilisée (test de Friedman) n'est ni plus, ni moins puissante que l'analyse de variance classique, et donc qu'elle n'est pas moins apte à détecter une différence éventuelle quand elle existe.

Or, il existe une structure spatiale *a priori* : elle est définie pour une date donnée par l'émission de rejets polluants dans le milieu marin et par le trajet des principaux courants dans la baie, en particulier le courant de flot (Fig. 8). Il a été établi précédemment qu'à mi-marée, le flot longe la plage Benoît d'est en ouest pour décrire une mouvement tourbillonnaire autour des Impairs, au voisinage des stations 9, 10 et 11. L'accroissement de la contamination pour ces stations lié à la persistance des eaux polluées, semble vérifié pour la station 11. La station 10 présente une colimétrie inférieure, plus corrélée aux précipitations (Fig. 16). Quant à la station 9, directement située sous les apports en eaux usées de l'étier, elle présente les plus mauvais résultats. Par ailleurs, elle est la seule à être située dans une zone à sédiments sablo-vaseux. L'accès à la structure spatiale est rendu difficile par l'intervention des facteurs météorologiques, eux-mêmes influant sur les paramètres hydrologiques. Suivant le positionnement de la station, l'effet d'un certain facteur météorologique n'induira pas les mêmes modifications du niveau de contamination à une date donnée. Nous retrouvons ici la notion d'interaction entre le facteur "date" et le facteur "station" explicitée dans les résultats. LEWIS (1978) a déjà noté le rapport causal entre les phénomènes météorologiques et consécutivement hydrologiques, et l'interaction spatio-temporelle. Pour schématiser, la cartographie de la pollution va différer sensiblement d'une date de prélèvement à l'autre en fonction, par exemple, de la météorologie, par nature imprédictible. Ceci, allié à l'imprécision de l'estimateur NPP, contribue à rendre floues d'éventuelles limite de sous-zones.

Le facteur climatique ayant la plus forte incidence sur la colimétrie est la direction du vent si l'on en croit l'analyse multivariée, objet du paragraphe 4.2.3. - Analyse factorielle des correspondances. Le transport des polluants du milieu terrestre vers le milieu marin est soumis, en effet, à l'influence du vent. Celui-ci conditionne l'éloignement ou *a contrario* le plaquage des rejets d'eau douce à la côte, qui restent en surface et se mélangent lentement. Les vents sud-sud-ouest, responsables du maintien des rejets à la côte, ont été moins fréquents que pour les années précédentes, en moyenne, et inversement pour les vents entraînant ces rejets vers le large (Annexe 6, Fig. A17). Des vents plus orientés à l'ouest, correspondant à une année plus typique pour ce facteur, auraient probablement contribué à affecter encore la qualité bactériologique du milieu.

4.3.3. – La salubrité de la plage Benoît : émission d'un avis

La question est maintenant de savoir quels résultats utiliser pour émettre un avis. Nous avons montré (Tab. 6) que suivant l'estimateur de valeur centrale considéré, la décision finale varie : d'une non conformité aux normes pour la moyenne géométrique, les résultats redeviennent conformes si l'on considère la médiane ou le NPP. L'emploi de ce dernier estimateur est critiquable dans la mesure où on émet l'hypothèse d'une structure spatiale *a priori* (même si elle n'a pas été mise en évidence), on n'est donc pas sûr d'avoir la même loi de distribution à chaque station de prélèvement. Ces différentes statistiques ont en commun le fait qu'elles lissent fortement l'évolution de la contamination : elles "émoussent" les pics, qui représente le véritable danger pour la santé publique. Apportons néanmoins une nuance à cette dernière assertion : les pics observés dans les données brutes ne peuvent représenter que la manifestation de la variabilité du dénombrement des coliformes fécaux au moyen de la mesure NPP. Comme illustration de ce dernier point, notons par exemple, que lorsque on obtient l'estimation du nombre le plus probable de 1 440 coliformes fécaux pour 100 ml de suspension, ceci représente une estimation ponctuelle. La vraie valeur a 95 % de chances de se trouver entre les limites 240 et 5 940 (De MAN, 1983), et donc entre une limite à gauche inférieure à 300 coliformes fécaux et une limite à droite supérieure à 3 000 coliformes fécaux, valeur impérative de l'arrêté !

Par ailleurs, dans un domaine ou la notion de seuil est prépondérante et apparaît clairement dans la rédaction de l'arrêté, le concept de moyenne a-t-il vraiment un sens ?

En matière de santé publique, il convient de se munir des contraintes les plus exigeantes : nous convenons de statuer ici, en fonction des données brutes observées. Compte tenu des résultats obtenus à chaque station, les auteurs estiment qu'il conviendrait de **maintenir la plage Benoît en zone insalubre.** Le fait que la pluviométrie des années 1989 et 1990 ait été inférieure à la moyenne vient renforcer l'opinion donnée.

Rappelons que cet avis fait suite à une première décision de classement consécutive aux prélèvements effectués en 1985 et 1986. (Annexe 1, Tab. A1 et A2). Les résultats obtenus lors des prélèvements de 1989 et 1990 (Annexe 1, Tab. A4 et A5) sont comparables, avec également des détections de salmonelles malgré les aménagements réalisés sur le réseau d'assainissement du SIVOM de La Baule (Paragraphe 1.1.6.). Suite à un recueil de données sur deux points du site de la plage Benoît (Fig. A18 et A19), d'août 1988 à juillet 1989, la DDASS avait émis un avis de maintien en zone insalubre, soulignant la contamination provenant du ruisseau de la Torre et transitant dans l'étier du Pouliguen.

Pour la présente étude, il apparaît que la période estivale est la plus contaminée (Fig. 17). Cette période voit une augmentation de plus de 700 % de la population du bassin versant considéré (Paragraphe 1.1.5.) et constitue une charge trop importante pour le réseau, entraînant ainsi le dysfonctionnement du couple réseau d'assainissement-station d'épuration.

Ce type d'étude conduisant à un avis ultime doit, au delà de toute considération trop mathématique, révéler l'état de santé d'un bassin versant et ainsi constituer une mesure de l'efficacité de l'assainissement. L'avis formulé est un élément d'appréciation dans la prise de décision finale. Cet élément est fondé sur la distance séparant les mesures observées des exigences de l'arrêté de 1976, basées sur des valeurs-guide. Un examen plus approfondi de ces valeurs fait l'objet du dernier paragraphe de cette discussion.

4.3.4.. – Origine des valeurs seuils

La distribution des concentrations bactériennes est supposée classiquement suivre une loi de Galton (ou loi lognormale). Cette hypothèse faite, on peut obtenir des estimations des deux paramètres de la loi, moyenne et écart-type, compte tenu des fréquences admissibles indiquées par la norme : sur 26 valeurs, le nombre de valeurs supérieures à 300 coliformes

fécaux pour 100 ml de suspension ne doit pas excéder 5 et, parmi celles-ci le nombre de valeurs comprises entre 1 000 et 3 000 ne doit pas excéder 2. A partir de la moyenne et de l'écart-type calculés, il est remarquable que la valeur centrée et réduite correspondant au logarithme de 3 000 coliformes fécaux pour 100 ml de suspension soit égale à 1.96 (R. CHEVALIER, Com. pers.). En se référant à la table de la loi normale réduite fournie dans la plupart des manuels de statistique, cette valeur n'a que 2,5 % de chances d'être dépassée.

Il semblerait alors qu'à l'origine des valeurs seuils existe une base probabiliste. On peut regretter que ce raisonnement n'ait pas été mené à bon terme. En effet, l'arrêté devrait être formulé en termes de pourcentages admissibles pour chaque classe de contamination. Tel qu'il est écrit, une valeur supérieure à 3 000 suffit à émettre un avis de classement en zone insalubre. Dès lors qu'on multiplie les mesures de façon légitime à appréhender la variabilité spatiale, on se résigne à augmenter le nombre des mesures supérieures à la limite précitée ; par exemple : 26 x 2,5 % = 0.65, que nous admettrons proche du zéro. Mais avec 11 stations de prélèvements : 26 x 11 x 2,5 % = 7.15 proche de 7. Donc 7 mesures supérieures à 3 000 coliformes fécaux pour 100 ml de suspension seraient autorisées, abstraction faite des facteurs environnementaux dont l'étude, nous l'avons vu, permet de nuancer les résultats bactériologiques obtenus. La critique que nous venons de faire tient surtout au fait que le texte ne mentionne aucune stratégie spatiale et, par conséquent, confère aux 26 mesures une valeur absolue. L'arrêté aurait dû soit être formulé en termes de pourcentages admissibles, soit faire uniquement mention d'une valeur maximale à ne pas dépasser (par exemple : 3 000 coliformes fécaux pour 100 ml de suspension).

Quoiqu'il en soit, il n'est pas établi, dans le domaine marin, de liens entre la concentration en coliformes fécaux, germes-tests empruntés aux eaux-douces, et le risque sanitaire. MAUL *et al.* (1989) précisent que "le manque de données épidémiologiques fiables et la connaissance relativement imparfaite de l'incidence pathologique sur la population, (...), ont contraint les autorités responsables en santé publique à fixer les normes de salubrité sur des bases caractérisées par un manque d'objectivité" et ajoute que "toutefois, la justification des normes actuellement en vigueur est pour une large part fondée sur le pragmatisme des législateurs". Il semble que les valeurs seuils réalisent un compromis entre les aspects socio-économiques (voire politiques) et la préservation de la santé publique. Ils ont le mérite d'exister et de fournir ainsi un moyen de déclencher l'alarme lorsque l'environnement littoral est soumis à la pollution bactériologique, et que les consommateurs de coquillages encourent un risque sanitaire.

V - CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant concerné par l'étude de la qualité bactériologique de la plage Benoît est très fortement urbanisé. Il comprend également une zone de marais à vocation essentiellement salicole. Il subit en juillet et août une affluence touristique très importante, le nombre d'habitants passant de 15 000 hors-saison à 110 000 en moyenne pendant ces deux mois.

La capacité de traitement de la station d'épuration de la région bauloise et du SIVOM de Piriac sur Mer (218 000 équivalents habitants) est alors très largement dépassée (345 000 habitants), conduisant à une augmentation importante de la charge bactériologique lors de l'arrivée des rejets en mer, dans la baie du Pouliguen.

Par ailleurs, le taux de raccordement au réseau d'assainissement est insuffisant en milieu urbain, et les hameaux entourant les marais salants (Kermoisan, Roffiat, Careil, Kerguessaud,...), ou pouvant contaminer le ruisseau LA TORRE (Beslon, Kercoco, Escoublac), ne sont pas raccordés.

La pollution bactériologique du bassin versant est essentiellement d'origine domestique. Il s'y ajoute des rejets de zones artisanales et industrielles et d'exploitations agricoles, puis, en saison touristique, ceux occasionnés par les plaisanciers dans le port. Ces pollutions sont drainées par le réseau hydrographique de l'étier du Pouliguen, constitué d'un réseau très dense d'étiers secondaires et du ruisseau de la Torre, qui se déverse dans la baie du Pouliguen en contaminant les eaux de mer et consécutivement les gisements naturels de coques. C'est au travers de la concentration en bactéries fécales dans les coquillages que la salubrité de la zone est évaluée, conformément à l'arrêté de 1976.

Les eaux polluées de l'étier du Pouliguen se diluent en mer sous l'effet des divers courants. Le jusant évacue les eaux douces au large de la pointe de Penchâteau. Le flot ramène ces eaux dans la baie du Pouliguen en décrivant, vers la mi-marée, un tourbillon autour de la tourelle des Impairs et de la balise de la Vieille. Les courants résiduels de marée, dont dépendent surtout les trajectoires des particules, déportent lentement les eaux de la baie vers le nord-ouest en longeant la côte sauvage vers la pointe du Croisic.

Les conditions météorologiques influent sur la trajectoire de la pollution. Des précipitations importantes perturbent le fonctionnement du couple réseau d'assainissement/station d'épuration par des intrusions, dans le réseau, d'eaux de ruissellement ou en provenance de la nappe phréatique. Le facteur météorologique primordial dans la répartition de la pollution fécale en mer est la direction du vent. En effet, les vents de secteur ouest à sud-ouest plaquent les eaux polluées à la côte, et sont responsables des pics de contamination. L'action de ces différents paramètres sur la courantologie empêche le discernement de zones moins contaminées dans le gisement de coques. Ainsi, la totalité de la plage Benoît doit être concernée par la décision finale.

L'exploitation des mesures effectuées montre un dépassement des normes, particulièrement en période estivale, et ceci malgré une faible pluviométrie. Un AVIS DE MAINTIEN EN ZONE INSALUBRE du gisement naturel de coques de la plage Benoît doit être émis. Ceci entraîne l'interdiction de toute pêche récréative. L'exploitation du gisement à titre professionnel doit être subordonnée à la purification des coquillages récoltés. L'interdiction totale de la pêche reste fortement recommandée en période estivale.

Cet avis est motivé par le respect de la référence législative, donnée par l'arrêté de 1976. S'il ne paraît pas basé sur un fondement statistique rigoureux, ce texte réalise néanmoins un compromis entre le risque sanitaire supposé (des salmonelles ont été décelées en 1988 et 1990), et le contexte socio-économique. A l'avenir, l'étude de zone pourrait s'appuyer soit sur une amélioration des techniques de détection des germes pathogènes, à moindre coût, soit sur la modélisation des phénomènes physiques de la zone considérée, alliée à une bonne connaissance des différents paramètres de la survie des germes fécaux en milieu marin.

Le classement du gisement de coques de la plage Benoît en zone insalubre n'est pas figé. Des améliorations conséquentes du réseau d'assainissement, telle que l'augmentation des taux de raccordement, pourraient conduire à sa révision.

BIBLIOGRAPHIE

Bonnefille R., Allen H., Migniot C., 1967. Etude du port de plaisance de La Baule - Le Pouliguen. Rapport du L.C.H.F.

Cellule Qualité des Eaux Littorales du Service Maritime et de Navigation de Nantes, 1990. Répertoire des rejets situés sur le littoral de Loire-Atlantique.

Daget J., 1976. Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris, 172 p.

De Man J.C., 1983. MPN Tables, corrected. *Eur. J. Appl. Microbiol.*, **17**, 301-305.

Deslous-Paoli J.M., M. Heral, P. Goulletquer, W. Boromthanarat, D. Razet, J. Garnier, J. Prou., Barillet L., 1987. Evolution saisonnière de la filtration des bivalves intertidaux dans des conditions naturelles. *Océanis*, **13**, 575-579.

Equinoxe, 1990. Environnement littoral. N° spécial, 32.

Lebart L., A. Morineau, J.P. Fénélon, 1982. Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod, Paris, 510 p.

Lewis W.M. Jr, 1978. Comparison of temporal and spatial variation in the zooplankton of a lake by means of variance components. *Ecology*, **59**, 666-671.

Maul A., D. Vagost, J.C. Block, 1989. Stratégies d'échantillonnage pour analyse microbiologique sur réseaux de distribution d'eau. Techniques et documentation Lavoisier, Paris, 112 p.

Miossec L., 1990. Mise en place d'un réseau de surveillance microbiologique du littoral français. Rapport IFREMER DRV-90.03 - CSRU/Nantes.

Migniot C., B. Bellesort, J. Laurent, 1964-1965. Sédimentologie. Mission d'études de La Baule - Le Pouliguen. Rapport du L.C.H.F.

Millière H., J. Valembois, P. Gerlier, 1964-1965. Rapport de synthèse Hydrographie. Océanographie. Mission d'études de La Baule - Le Pouliguen. Rapport du L.C.H.F.

Pommepuy M., M. Cormier, L. Brunel, M. Breton, 1987. Etude de la flore bactérienne d'un estuaire breton (Elorn, rade de Brest, France). *Oceanologica acta*, **10**, 187-196.

Poulouin N., 1990. Evaluation d'un système de surveillance. Orientations pour le suivi de la qualité bactériologique des eaux de la baie de Saint-Brieuc. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale de la Santé Publique.

Prost H., B. Hugues, 1982. Dénombrement des micro-organismes par la technique du nombre le plus probable (indice NPP) : emploi statistique de cet indice. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, **75**, 185-207.

Salomon J.C., Lazure P., 1988. Etude par modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. Rapport IFREMER DERO-88.26 EL.

Saunier Eau et Environnement, 1984. Etude d'impact préalable à l'extension de la station d'épuration de Livery. SIVOM de la Région Bauloise.

Saunier Eau et Environnement, 1985. Etude d'impact sur l'environnement du rejet de la station d'épuration de Livery. SIVOM de la Région Bauloise.

SCE Ingénieurs Conseils et CSTB Cellule Eaux et Déchets, 1989. Evaluation des possibilités de mise en place de filières d'assainissement autonome regroupé. SIVOM de la Région Bauloise.

SCE Ingénieurs Conseils et CSTB Cellule Eaux et Déchets, 1989. Analyse de huit sites A.P.S. d'assainissement autonome regroupé sur quatre sites. SIVOM de la Région Bauloise.

Scherrer B., 1983. Techniques de sondage en écologie. *In :* Stratégies d'échantillonnage en écologie, edited by S. Frontier, Masson, Paris, p. 63–162.

Siegel S., 1956. Non parametric statistics for the behavioral sciences. Mac Graw-Hill, Tokyo, 312 p.

VII. LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Résultats bactériologiques	42
ANNEXE 2	Courantologie	49
ANNEXE 3	Arrêté du 13 juin 1988	64
ANNEXE 4	Arrêté n° 118-89	66
ANNEXE 5	Arrêté du 12 octobre 1976	72
ANNEXE 6	Résultats bruts - Exploitation des données	74

ANNEXE 1

RESULTATS BACTERIOLOGIQUES

Fig. A1 : Positionnement des stations de prélèvements sur la plage Benoît (1985 - 1986).

Lieu / Date	Rive droite n° 1	Etier n° 2	Plage Benoît n° 3	Plage Benoît n° 4
18/04/85	2 760	6 600	14 400	14 400
06/05/85	560	6 600	90	900
03/06/85	900	1 440	1 110	140
02/09/85	0	0	0	0
16/09/85	0	0	0	0
30/09/85	0	0	0	0
14/11/85	140	900	90	140

0 à 300 :	17 résultats	60,7 %	Normes : 80,8 %
301 à 1000 :	4 "	14,3 %	11,5 %
1001 à 3000 :	3 "	10,7 %	7,7 %
+ 3000 :	4 "	14,3 %	0,0 %

Tab. A1 : Résultats bactériologiques du gisement naturel de coques de La Baule-Le Pouliguen (IFREMER, 1985)

Lieu / Date	Rive droite n° 1	Etier n° 2	Plage Benoît n° 3	Plage Benoît n° 4
13/01/86	20	20	140	55
27/01/86	20	600	600	140
10/02/86	560	1 440	560	450
10/03/86	140	560	125	560
24/03/86	140	2 760	55	0
12/05/86	14 400 +	0	1 440	6 600
26/05/86	450	560	140	140
10/06/86	260	140	260	90
24/06/86	560	2 760	55	140
19/08/86	140	1 260	260	260
08/09/86	20	2 760	0	20
22/09/86	20	90	140	20
06/10/86	45	70	0	90
20/10/86	1 440	140	45	170
03/11/86	140	90	140	260
17/11/86	90	1 740	0	0
01/12/86	45	20	0	0
15/12/86	-	55	0	

0 à 300 :	49 résultats	71,0 %	Normes : 80,8 %
301 à 1000 :	10 "	14,5 %	11,5 %
1001 à 3000 :	8 "	11,6 %	7,7 %
+ 3000 :	2 "	2,9 %	0,0 %

Tab. A2 : Résultats bactériologiques du gisement naturel de coques de La Baule-Le Pouliguen (IFREMER, 1986).

Date	P1		P2	
	CF/100 ml	SF/100 ml	CF/100 ml	SF/100 ml
05/04/88	< 60	460	80	860
18/04/88	60	860	140	860
02/05/88	460	460	80	860
16/05/88	460	860	460	180
03/06/88	< 60	300	460	300
13/06/88	80	180	300	460
04/07/88	460	460	80	80
01/08/88	< 60	< 60	60	< 60
29/08/88	1860	1500	1860	860
12/09/88	180	1500	180	80
26/09/88	< 60	> 220000	180	3000
11/10/88	< 60	680	< 60	860
25/10/88	80	180	80	22000
08/11/88	80	< 60	< 60	80
22/11/88	1860	860	300	460
09/12/88	460	80	460	< 60
23/12/88	< 60	9200	180	1860
13/01/89	< 60	860	< 60	1860
24/01/89	80	4800	< 60	460
08/02/89	180	460	180	180
21/02/89	80	60	80	180
07/03/89	180	460	140	460
21/03/89	< 60	300	< 60	860

Tab. A3 : Suivi de la qualité des eaux littorales, années 1988-1989, aux points P1 (Proximité chenal) et P2 (face à l'Hermitage). Concentrations en coliformes fécaux (CF) et en streptocoques fécaux (SF)pour 100 ml de broyat de coques (Service Maritime et de Navigation de Nantes - Cellule Qualité des Eaux Littorales).

Date	CF/100 ml	SF/100 ml
05/02/88	110000	4600
22/03/88	930	240
19/04/88	430	20
17/05/88	240	9
14/06/88	210	0
19/07/88	240	4
18/08/88	23	4
29/09/88	2400	430
13/10/88	75	15
14/11/88	240	150
12/12/88	240	240
09/01/89	240	430
22/02/89	2400	930
10/03/89	430	930
20/04/89	930	240
19/05/89	150	430
05/06/89	240	21
03/07/89	150	9
02/08/89	430	150
01/09/89	2400	93
17/10/89	23	930
15/11/89	930	930
14/12/89	4300	930
29/01/90	930	430
27/02/90	9	240
13/03/90	93	43
09/04/90	930	7
09/05/90	240	15
12/06/90	240	< 3
09/07/90	930	930

Tab. A4 : Suivi de la qualité des eaux littorales, années 1988-1989-1990, au point de l'étier du Pouliguen. Concentrations en coliformes fécaux (CF) et en streptocoques fécaux (SF) pour100 ml d'eau de mer (Service Maritime et de Navigation de Nantes - Cellule Qualité des Eaux Littorales).

Date	CF/100 ml	SF/100 ml	Salmonelles
08/12/87	1200	6600	-
05/01/88	2400	30000	*S. paratyphi B*
19/01/88	2400	6600	-
09/02/88	2400	12000	-
23/02/88	2400	30000	-
08/03/88	5400	3000	-
22/03/88	2400	12000	*S. paratyphi B*
06/04/88	540	30000	-
19/04/88	2400	30000	*S. diarizonae* 3b
03/05/88	2400	3000000	-
17/05/88	1200	2400	*S. diarizonae* 3b
31/05/88	2400	66000	-
14/06/88	1200	1200	-
28/06/88	90	1200	-
02/08/88	900	2400	-
30/08/88	900	5400	-
13/09/88	240	1200	-
27/09/88	5400	30000	-
11/10/88	240	2400	-
25/10/88	2400	2400	-
22/11/88	900	12000	-
13/12/88	900	5400	-
24/10/89	3069		
21/11/89	238		
12/06/90	612		
19/06/90	69		
26/06/90	70		
04/07/90	488		
17/07/90	1039		
24/07/90	759		
06/08/90	900		*S. typhimurum*
03/09/90	260		
11/09/90	19972		
18/09/90	3108		
02/10/90	360		
09/10/90	350		
16/10/90	138		
19/11/90	140		
06/12/90	260		

Tab. A5: Concentration en coliformes fécaux (moyenne géométrique en cas de répétitions) et en streptocoques fécaux (jusqu'en Décembre 1988) pour 100 ml de broyat de coques, à la station n° 8 de la plage Benoit. Recherche systématique de salmonelles jusqu'en décembre 1988 (DUPONT, com. pers.).

ANNEXE 2

COURANTOLOGIE

1 - LES COURANTS DE HOULE.

Les provenances de la houle observées sont comprises entre l'ouest-sud-ouest et le sud-sud-ouest. Après réfraction ces houles atteignent le rivage dans la partie ouest de la baie du Pouliguen avec une amplitude faible (Fig. A2).

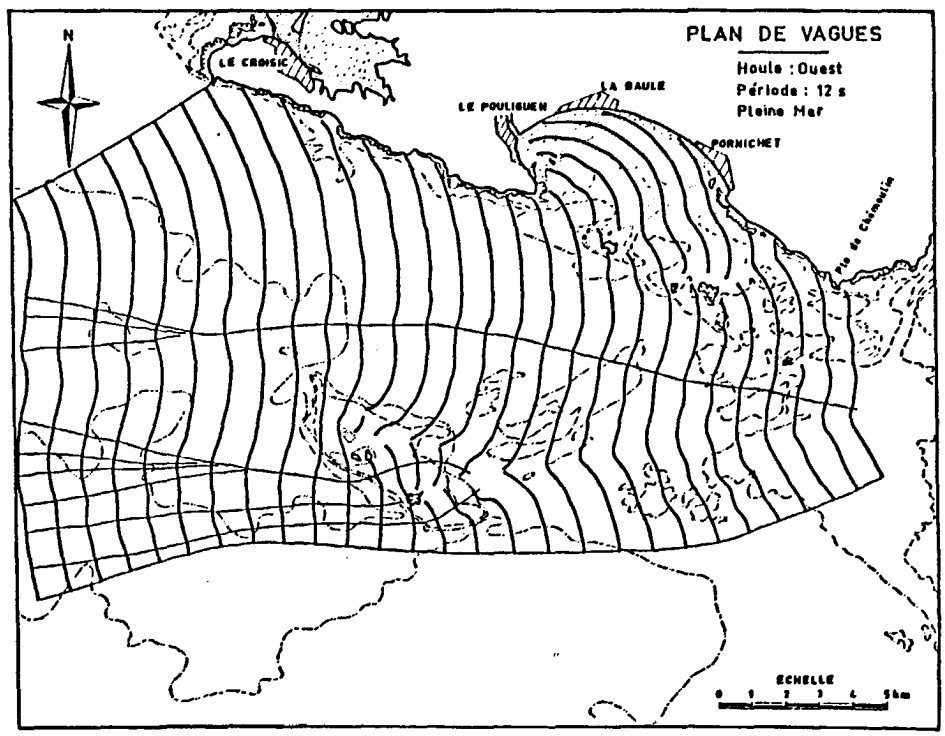


Fig. A2 : Houle d'ouest en baie du Pouliguen
(BONNEFILLE *et al.*, 1967).

Seules les houles de sud peuvent pénétrer à l'abri de la pointe de Penchâteau (Fig. A3). Elles sont dues au vent de sud dont la probabilité d'occurence est faible (3 % à Saint-Nazaire).

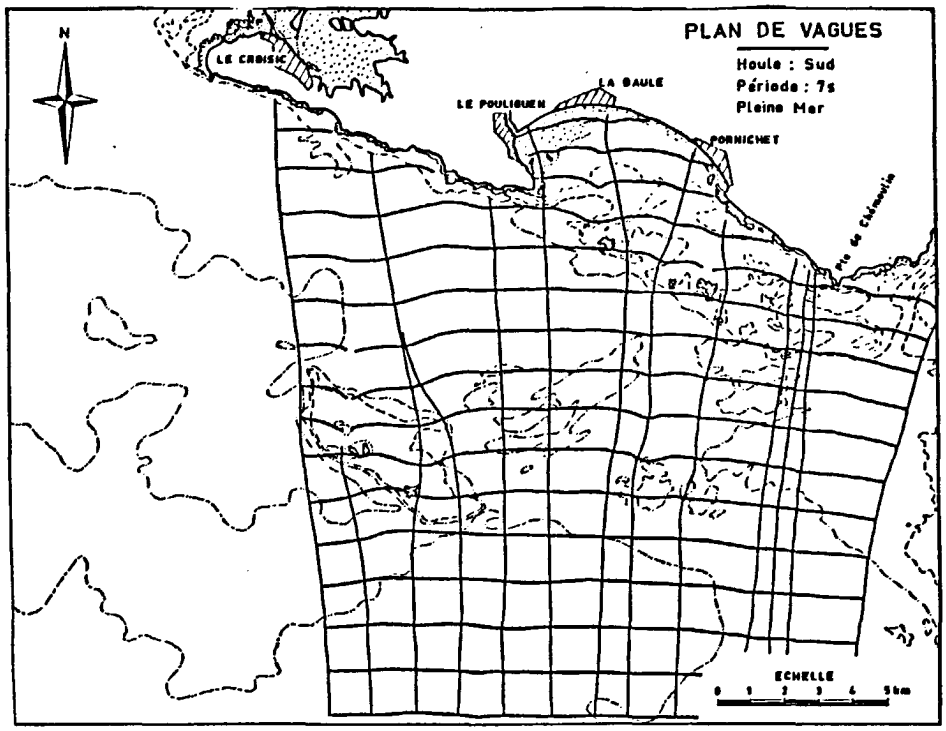


Fig. A3 : Houle de sud en baie du Pouliguen (BONNEFILLE *et al.*, 1967).

Les observations au phare de la Banche, pendant un peu plus d'un an, confirment le faible pourcentage de l'ordre de 1 % des houles de sud et la prépondérance des houles de sud-ouest (Fig. A4).

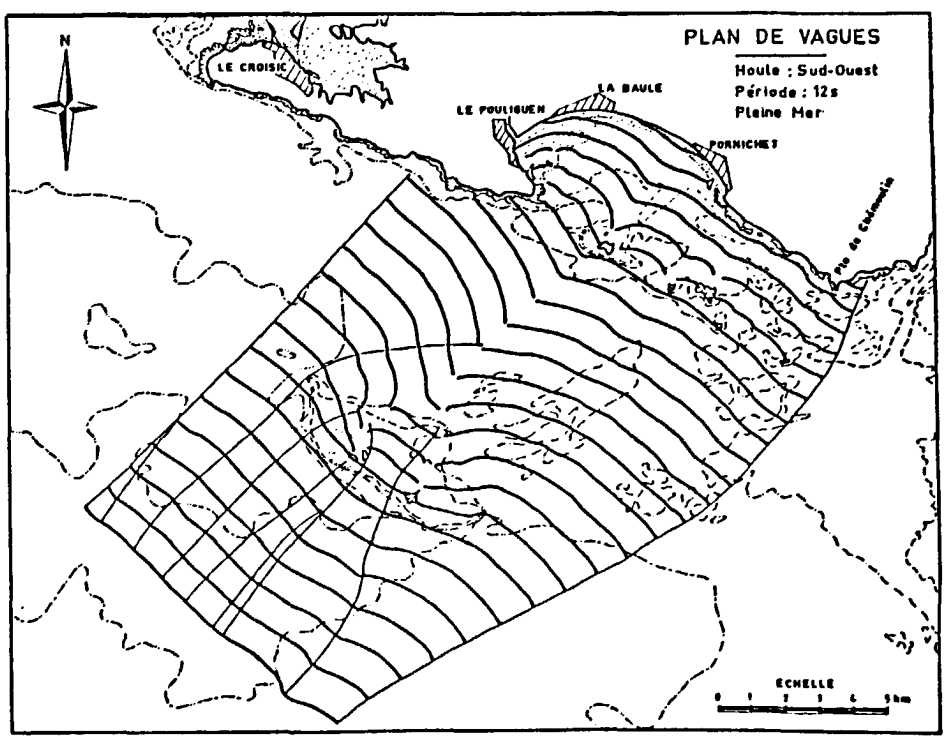


Fig. A4 : Houle de sud-ouest en baie du Pouliguen (BONNEFILLE *et al.*, 1967).

2 - LES COURANTS INSTANTANES DE MAREE ET LEURS TRAJECTOIRES

La marée constitue le signal courantologique le plus important. L'onde en provenance de la plaine abyssale progresse perpendiculairement au talus continental et à la ligne de côte. La courbe de marée, le long de la côte atlantique, est de forme sinusoïdale, c'est-à-dire comportant une durée de montée à peu près égale à celle de baissée. C'est le cas à Brest. Cette courbe est déformée quand la marée pénètre dans l'estuaire de la Loire entre le Croisic et Noirmoutier où les fonds sont faibles et encombrés de plateaux rocheux. Cette déformation se fait sentir dans la baie du Pouliguen et se traduit approximativement par des temps de montée de 5 heures et de baissée de 7 heures en vives-eaux (MIGNOT et BELLESORT, 1964-1965). L'onde de marée, qui vient du sud-ouest, arrive à peu près en même temps sur tous les points de la côte française de l'Atlantique. Comme le Pouliguen est à une distance de 20 km par la mer de Saint-Nazaire, la marée se fera donc plus tôt au Pouliguen. L'heure de la pleine mer à la Tourelle des Impairs est en avance de 14 minutes sur l'heure de la pleine mer à Saint-Nazaire, en moyenne par beau temps.

Le courant de marée décrit approximativement une ellipse dans le sens négatif (sens des aiguilles d'une montre) au cours d'un cycle de marée sur le plateau continental (Fig. A5).

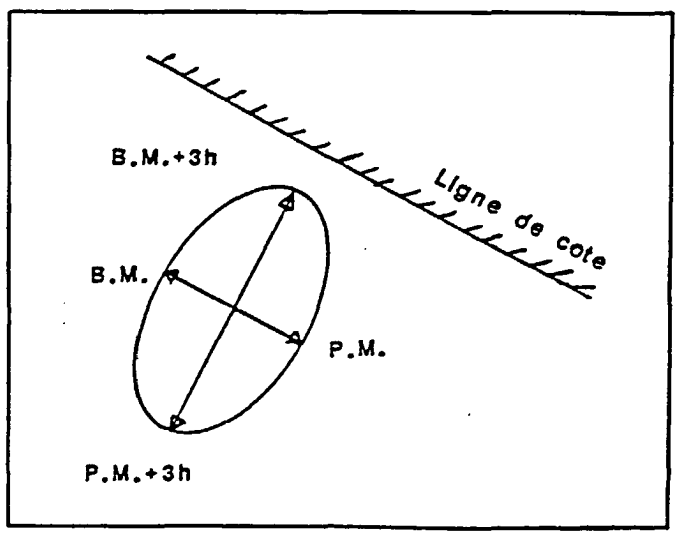
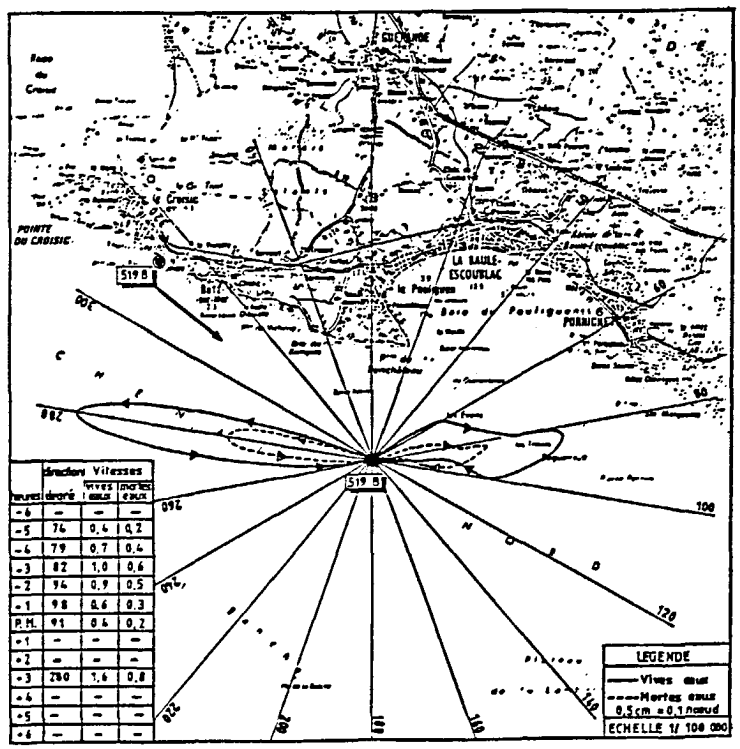


Fig. A5 : Allure générale d'un hodographe de marée (SALOMON et LAZURE, 1988).

Près des côtes et par des hauteurs d'eau inférieures à 50 mètres, les chenaux, les îles et les hauts fonds guident les courants qui s'écartent de leurs valeurs théoriques. Les travaux du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) montrent que les courants de marée instantanés sont sensiblement alternatifs et pratiquement parallèles dans la frange littorale située entre la pointe de Penchâteau et la pointe du Croisic (Fig. A6).



heures	direction dérivé	Vitesses vives eaux	mortes eaux
-6	-	-	-
-5	76	0,4	0,2
-4	79	0,7	0,4
-3	82	1,0	0,6
-2	94	0,9	0,5
-1	98	0,6	0,3
P.M.	91	0,4	0,2
+1	-	-	-
+2	-	-	-
+3	280	1,6	0,8
+4	-	-	-
+5	-	-	-
+6	-	-	-

Fig. A6 : Rose des courants au point 519B (SHOM), in SAUNIER (1984), (réduction 50 %).

La rose de courant a la forme d'un huit. Les rejets côtiers de ce secteur, dont celui de la station d'épuration de Livery en baie du Scal, sont soumis à ces courants. Il est possible que ces rejets aient une influence sur la qualité microbiologique des eaux de la baie du Pouliguen et des gisements coquilliers.

Les travaux réalisés en 1977 par le Laboratoire Régional d'Angers (in SAUNIER, 1984), confirment les travaux du SHOM et démontrent clairement que les courants longent la côte du Pouliguen quels que soient les vents dominants et la période d'observation par rapport à la pleine mer.

Les courants de marée calculés par le modèle mathématique dit "bidimensionnel en plan horizontal ou 2D" (SALOMON et LAZURE, 1988), confirment également les observations précédentes. Les résultats sont calculés pour une situation moyenne et des débits fluviaux moyens de la Loire et la Vilaine. Ce modèle mathématique opère sur le phénomène barotrope de marée, c'est-à-dire sur la moyenne verticale des variables d'états (vitesse et concentration) et sur la hauteur d'eau. L'intensité des courants instantanés est faible sur la côte sauvage du Pouliguen et dans la baie. De même les trajectoires décrites par des particules au cours de la marée sont généralement de l'ordre de 3 à 4 km seulement (Fig. A7). Près des côtes les ellipses deviennent plus ou moins rectilignes.

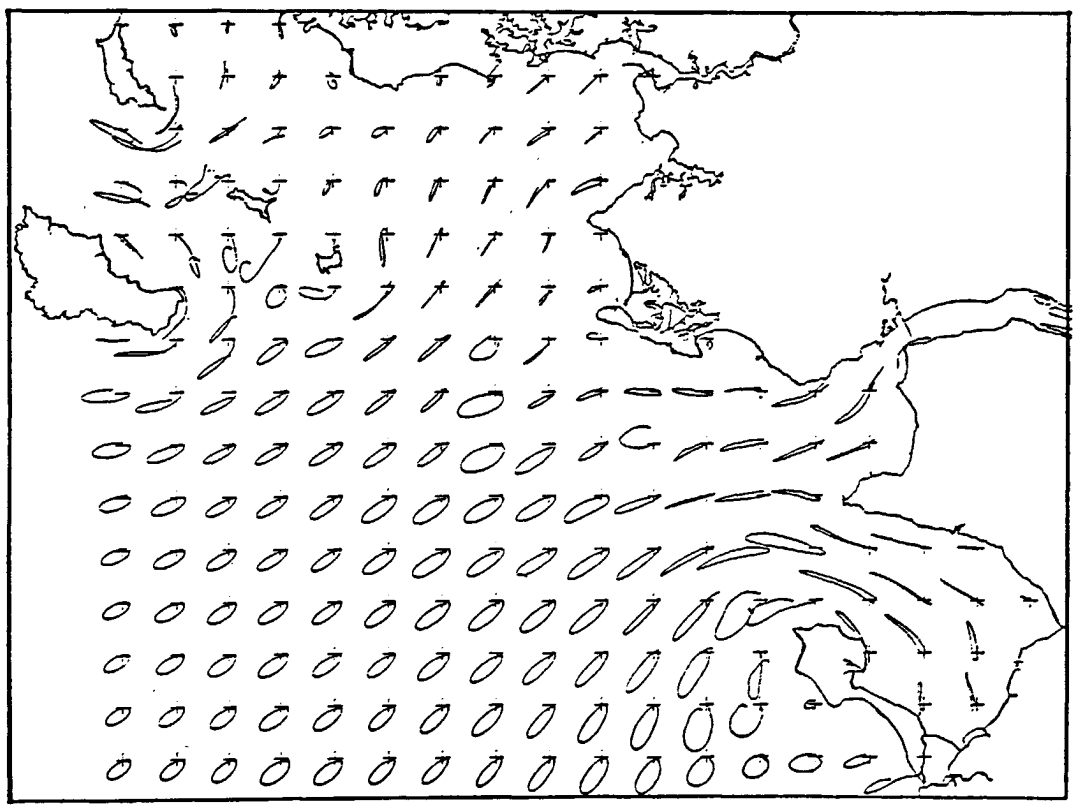


Fig. A7 : Trajectoires de marée (SALOMON et LAZURE, 1988).

Le modèle mathématique dit "tridimensionnel ou 3D" (SALOMON et LAZURE, 1988) s'adresse aux phénomènes baroclines (vent et stratifications). Les calculs étant plus lourds, la discrétisation spatiale est plus grossière et par conséquent le maillage ne donnera pas de résultats suffisamment précis à proximité de la côte. En considérant la marée seule, ce modèle 3D indique des trajectoires très semblables à celles calculées par le modèle précédent 2D. Il fournit la possibilité d'étudier les mouvements verticaux.

Les effets combinés de la marée et du vent montrent que les effets du vent sur les courants instantanés sont particulièrement nets dans les couches de surface. La rose des courants se déforme et tend à se décaler dans le sens du vent, alors qu'au voisinage du fond elle est quasiment inchangée (Fig. A8).

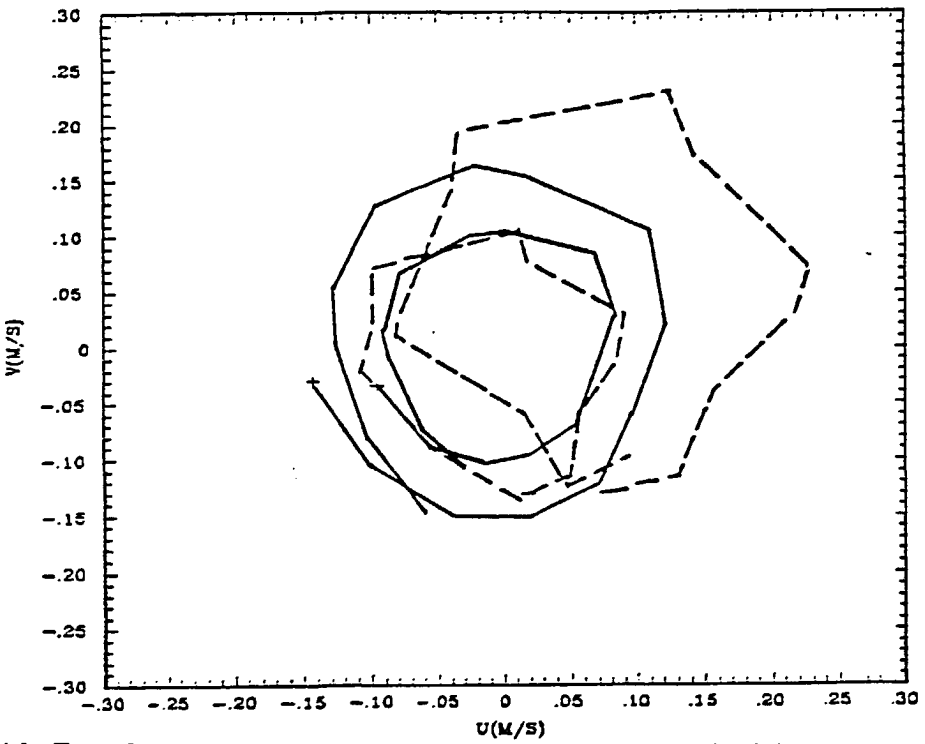


Fig. A8 : Rose de courants de surface et fond : sans vent en trait plein, avec vent de SW en pointillé (SALOMON et LAZURE, 1988).

En surface, pour un vent de nord-est, le jusant dure plus longtemps que le flot, alors qu'au fond la répartition est égale. Cet effet peut provoquer temporairement des rotations de courants sur la verticale supérieure à 90°. Il en résulte de forts cisaillements verticaux qui augmentent encore la turbulence créée directement par le vent dans la couche de surface. Le vent et la houle agissent de façon très sensible sur la marée du Pouliguen. Un bon vent de sud-ouest à ouest-nord-ouest fait monter la pleine mer de 25 à 30 cm au-dessus du niveau prévu tandis qu'un bon vent de secteur est fait descendre le niveau de pleine mer de 15 à 20 cm (MIGNOT et al., 1967).

Par petits fonds et lorsque les courants sont faibles, le vent peut localement doubler l'intensité des vitesses. C'est le cas en général des zones où les ellipses de courants ont leur grand axe orienté dans la direction du vent. Cette situation est fréquente sur la côte du Pouliguen.

A la suite des suivis courantologiques dans le cadre de l'étude d'impact préalable à l'extension de la station d'épuration de Livery, SAUNIER Eau et Environnement donne les conclusions suivantes :

- au cours du jusant les panaches colorés se dispersent parallèlement à la côte sur une largeur moyenne de 750 mètres,
- dans la majorité des cas étudiés (période de flot mi-jusant) le panache s'allonge parallèlement à la côte en direction de l'ouest,
- en période estivale lorsque le niveau de la Loire avoisine la côte d'étiage, et par vents d'ouest, les eaux usées se déplacent vers l'est en direction de la pointe de Penchâteau au flot,
- les vitesses de dispersion sont rapides à mi-marée descendante, lorsque les effets conjugés du vent et de la Loire s'ajoutent au jusant.

Ces conclusions présentent un caractère principalement qualitatif compte tenu du nombre réduit des campagnes de suivis courantologiques (15 mai, 30 mai et 20 juin 1985). Elles montrent néanmoins que le rabattement des effluents sur la frange littorale, de part et d'autre du rejet en mer dans la baie du Scal, est fréquent dans un cours délai.

Dans la baie du Pouliguen les courants sont également dus à la marée seule. Butant contre le plateau rocheux, les îles et la côte fermant la baie, une partie du courant de marée pénètre entre Penchâteau et l'île des Evens, ainsi que, à un moindre degré, par la passe entre les Evens et Baguenaud (BONNEFILLE *et al.*, 1967) . Le flot se dirige ensuite vers le nord-est en se divisant en deux branches. L'une s'incurve vers le nord-ouest en longeant la plage de la Baule vers l'ouest, et forme ensuite un vaste courant giratoire senestre qui vient englober les Impairs (Fig. A9). L'autre branche se dirige dans la partie est de la baie de Pornichet. Le jusant constitué par un vidage régulier de la baie sort par les mêmes passes au voisinage des Evens. Dans la partie ouest de la baie, les courants sont orientés est-ouest.

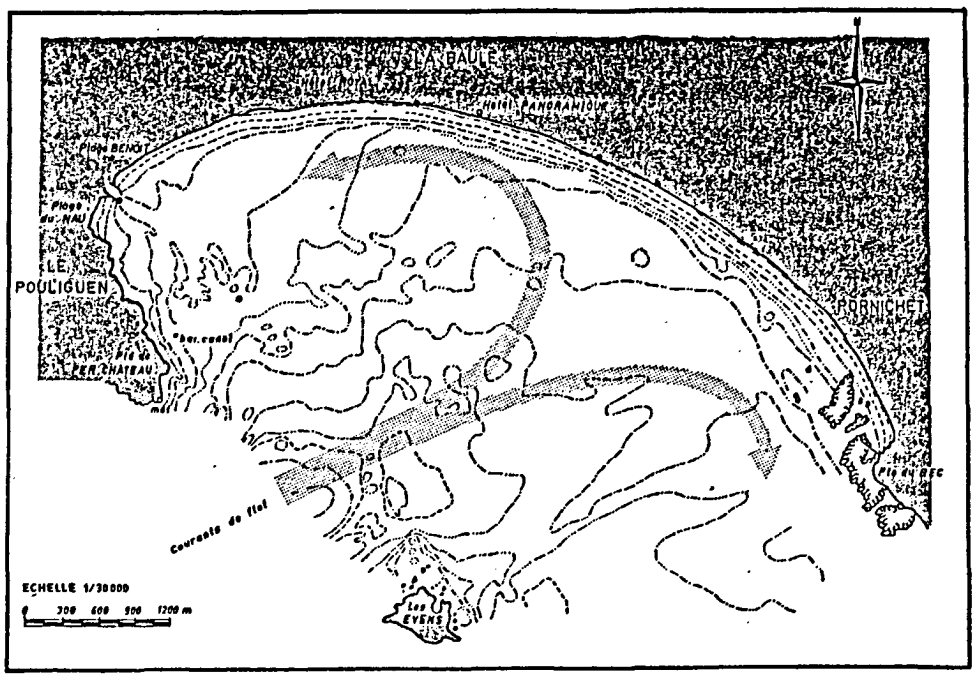


Fig. A9: Pénétration du flot dans la baie du Pouliguen (BONNEFILLE et al., 1967).

La faible insensité des courants, à peine plus de 50 cm/s en vive-eau entre la pointe de Penchâteau et les Evens, explique la stabilité des fonds sédimentaires de la baie. Les vitesses des courants ne dépassent pas 50 cm/s dans le centre de la baie et 15 cm/s dans les parties est et ouest. Les courants ne paraissent susceptibles de transporter que les sédiments très fins inférieurs à 0.20 mm.

3 - LES MOUVEMENTS RESIDUELS

La notion de courant résiduel est liée à la période considérée, cette période étant supérieure à celle de la marée (12h25).

Les courants résiduels dans ce secteur ont plusieurs origines :

- la marée
- le vent
- les apports fluviaux.

Les courants générés par un fleuve sont de deux natures différentes : d'une part, un courant dû à l'apport d'eau (courant de continuité), d'autre part, un courant de densité induit par les gradients de salinités. Hors de l'estuaire, le courant de continuité devient généralement négligeable.

La distribution des plus importants paramètres de la qualité de l'eau (salinité, température, concentration en substances nocives ou nutritives...) dépend essentiellement de ces mouvements et assez peu des oscillations instantanées, du moins de manière directe. Elle en dépend indirectement par le couplage de toutes les composantes dynamiques.

3.1. Les mouvements résiduels de marée.

3.1.1. Calculs bidimensionnels (2D).

Les mouvements sont calculés pour une marée moyenne (coefficient 70) d'amplitude constante, un vent nul et un débit fluvial moyen de 800 m^3/s pour la Loire et de 70 m^3/s pour la Vilaine (SALOMON ET LAZURE, 1988).

En zone littorale, le concept lagrangien de trajectoire et de vitesse dites "résiduelles lagrangiennes" est utilisé de préférence à la méthode classique recherchant les courants dits "résiduels eulériens" qui n'est qu'un arbitraire mathématique. Le résultat des calculs, présenté sous la forme d'un champ de vecteurs (Fig. A10) et sous la forme de trajectoires (Fig. A11), montre un courant général extrêmement faible au voisinage de la côte.

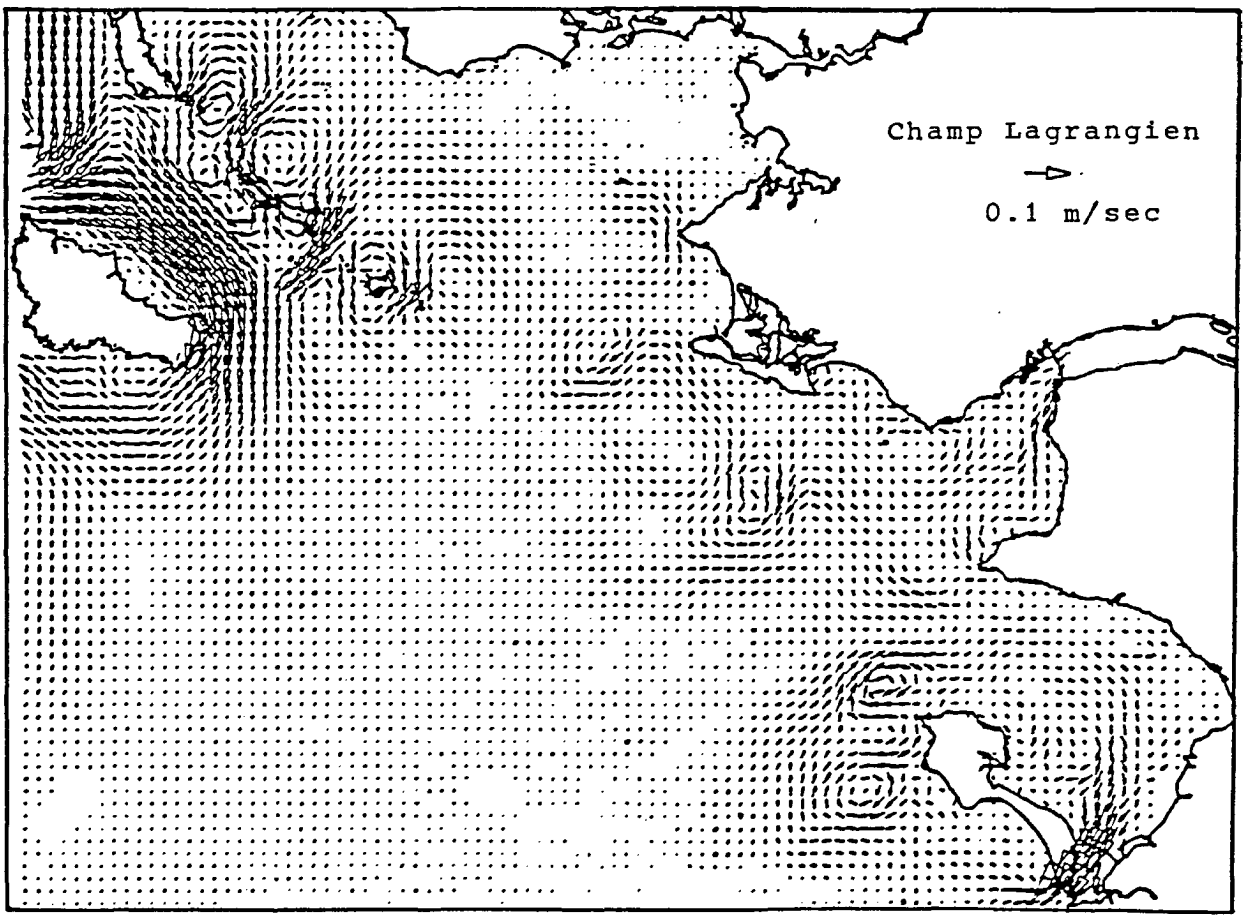


Fig. A10 : Courants résiduels lagrangiens (SALOMON et LAZURE, 1988).

Des mouvements tourbillonnaires (2 à 3 cm/s) révèlent les irrégularités topographiques. Ils sont dûs à une interaction des courants de marée giratoires et des hauts fonds ou des îles. Ces mouvements sont anticycloniques sur le plateau du Four, la Banche, aux environs du Pouliguen, et sur le Pilier et les Boeufs près de Noirmoutier.

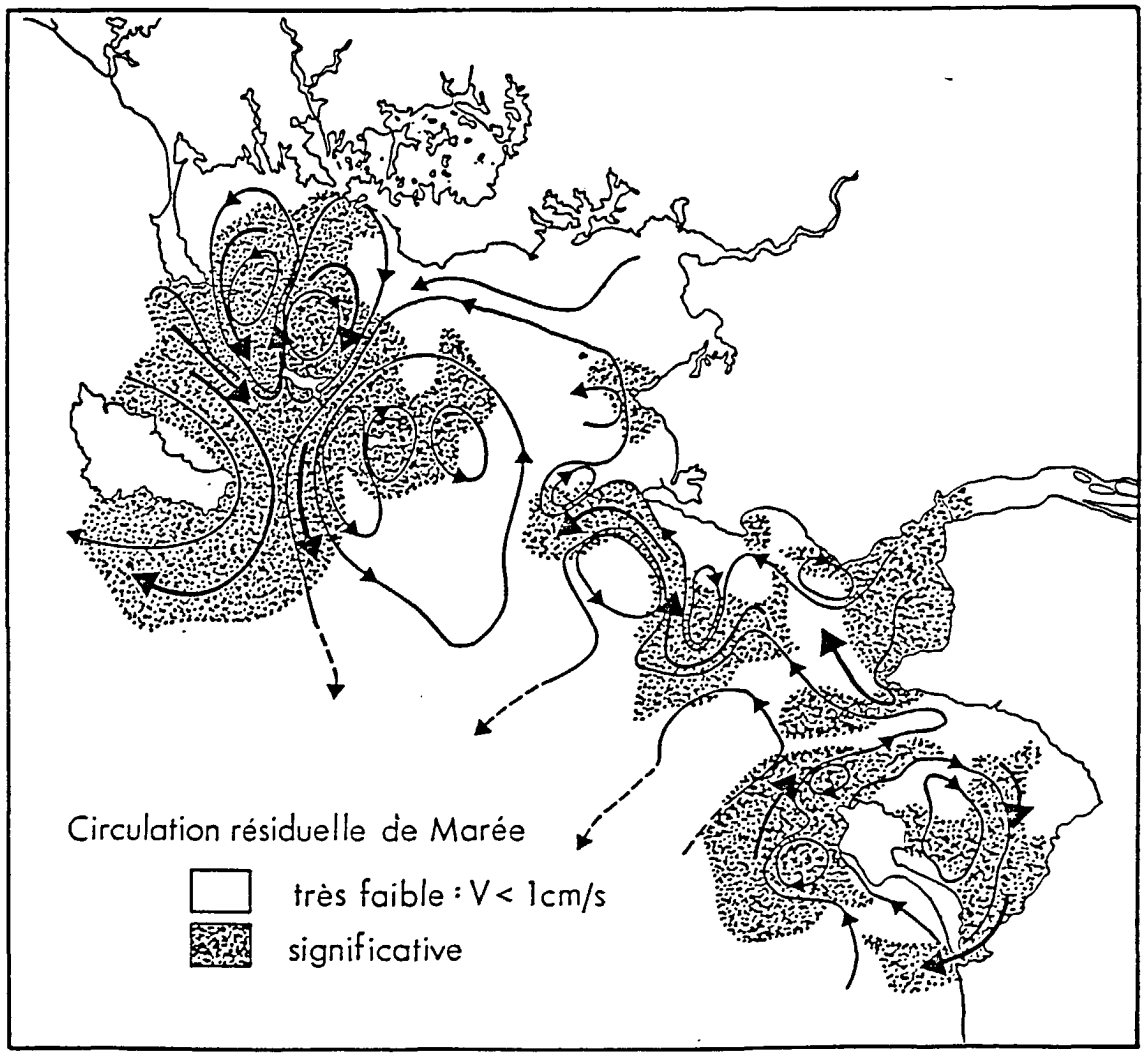


Fig A 11.: Schéma de circulation résiduelle de marée (SALOMON et LAZURE, 1988).

Les eaux marquées par la Loire (hors débit de crue) descendent dans l'estuaire en direction de la pointe Saint-Gildas, pénètrent peu ou pas en baie de Bourgneuf, puis s'orientent alors vers le nord-ouest , méandrent autour du plateau de la Banche et se dirigent vers le plateau du Four, Il semble que cette masse d'eau se divise en deux :

- une partie du flux se dirigerait vers le large, direction sud-ouest
- une seconde partie, plus faible, prendrait la direction nord.

Le passage des courants remontant à proximité des Evens et de la pointe de Penchâteau confirme, lors du flot, la possibilité d'une excursion des eaux de la Loire dans la baie du Pouliguen. L'observation des vecteurs de courants résiduels (Fig. A10) montre une lente évacuation des eaux vers la pointe du Croisic.

En mer, le déplacement des particules d'eau et des substances qui y sont dissoutes s'effectue à la fois par les courants (advection) et par le mélange turbulent (diffusion et dispersion). Lorsque les courants sont importants, ils constituent le principal vecteur de ces mouvements. Mais lorsqu'ils sont très faibles, ce qui est le cas des mouvements résiduels, le flux dispersif peut ne plus être négligeable par rapport au flux advectif.

Malgré de nombreuses imperfections dues à la méthode, des calculs théoriques ont été développés afin de comprendre comment l'action des courants et du mélange turbulent pouvait se combiner dans le cas d'un phénomène de marée se produisant seul durant plusieurs semaines ou plusieurs mois. Ces calculs montrent le cheminement des eaux de la Loire vers l'ouest et leur répartition entre une veine principale se dirigeant vers le sud-ouest et une seconde fraction qui pénètre vers le nord en direction de la baie de Vilaine (fig. A12).

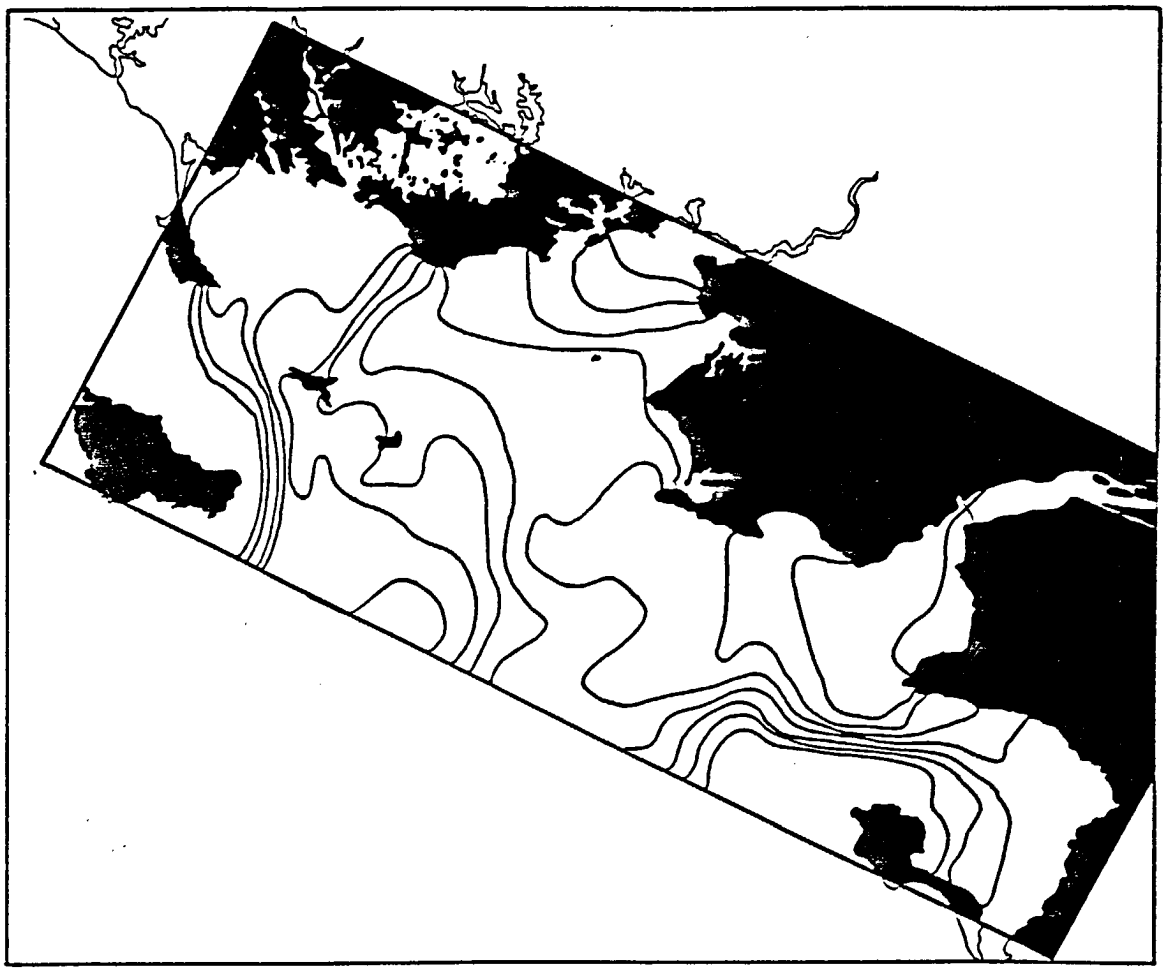


Fig. A12 : Evolution de l'advection et de la dispersion en mer des eaux de la Loire (SALOMON et LAZURE, 1988).

La validité des résultats donnés par le modèle bidimensionnel a été partiellement vérifiée. La télédétection ne révèle pas de traceur conservatif à des échelles de temps de plusieurs jours à plusieurs semaines, mais cependant des images thermographiques semblent confirmer les mesures théoriques.

D'autres éléments sont plus fragiles : ils s'agit des mouvements lents relevés sur une grande partie du domaine étudié où les vitesses sont inférieures à 1 cm/s. Ces mouvements peuvent être facilement annihilés par les mécanismes hydrodynamiques (vent, gradient de densité, ondes diverses provenant du large).

3.1.2. Calculs tridimensionnels (3D).

Les résultats obtenus par les calculs 3D sont globalement identiques à ceux obtenus par le modèle 2D en raison du caractère barotrope de la marée. On peut toutefois noter quelques particularités liées aux accidents topographiques (effets de chenaux).

3.2. Les aspects tridimensionnels des mouvements à long terme.

3.2.1. Effets combinés de la marée et du vent.

La circulation à long terme envisagée comme précédemment sous son aspect lagrangien se déduit du calcul des trajectoires. La distance qui sépare le point de départ d'une particule fluide, de sa position après un nombre entier de cycles de marées, représente sa trajectoire résiduelle. Le courant résiduel dû à la marée seule est très faible que ce soit en surface ou en profondeur. Les dérives les plus importantes sont situées dans l'estuaire de la Loire en raison du débit fluvial.

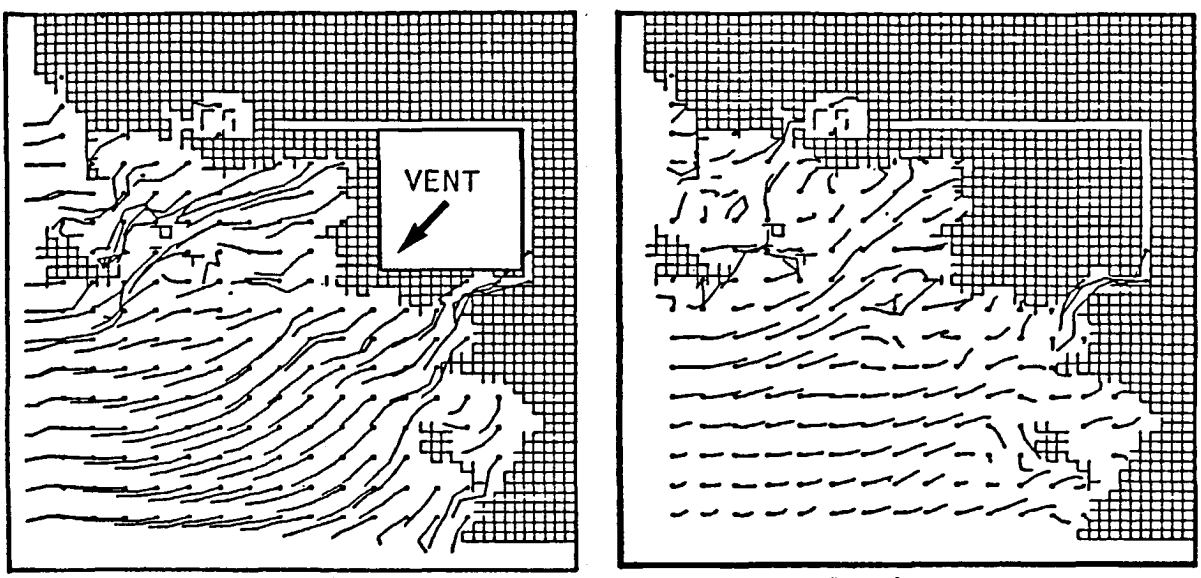


Fig. A13 : Trajectoires résiduelles simulées pour 4 cycles de marée par vent de nord-est (SALOMON et LAZURE, 1988).

Le modèle 3D révèle que lors de l'étude des effets combinés de la marée et du vent, les courants résiduels varient beaucoup avec l'immersion (SALOMON et LAZURE, 1988)

Par vent de nord-est (fig. A13), les trajectoires de surface s'effectuent majoritairement dans une direction comprise entre l'ouest et le sud. Par des profondeurs supérieures à 50 mètres, le courant au voisinage de la surface porte à l'ouest. Cet écart par rapport à la direction du vent est sans doute un effet de la force de Coriolis. A mesure que la profondeur diminue l'écart entre la direction du vent et celle du courant diminue.

Près des côtes ou par petits fonds, l'interprétation des dérives de surface est plus complexe car elles sont marquées par la bathymétrie.

3.2.2. Effets combinés de la marée et d'une crue de la Loire et de la Vilaine.

Le débit fluvial est un paramètre négligeable en étiage, mais très important en crue. Après étude d'une simulation sur 13 jours, le panache de la Loire en surface par débit de grande crue (4 000 m^3), s'oriente tout d'abord à l'ouest et provoque un front de salinité à l'entrée de la baie de Bourgneuf (SALOMON et LAZURE, 1988). Il tend ensuite à se scinder en deux parties au-dessus du plateau de la Banche. L'une s'oriente vers le sud-ouest alors que la seconde se dirige au nord vers le plateau du Four, collée à la côte sur une bande de 10 km de large en surface (Fig. A14). La partie nord, en forme de langue crée un front important au niveau du Croisic.

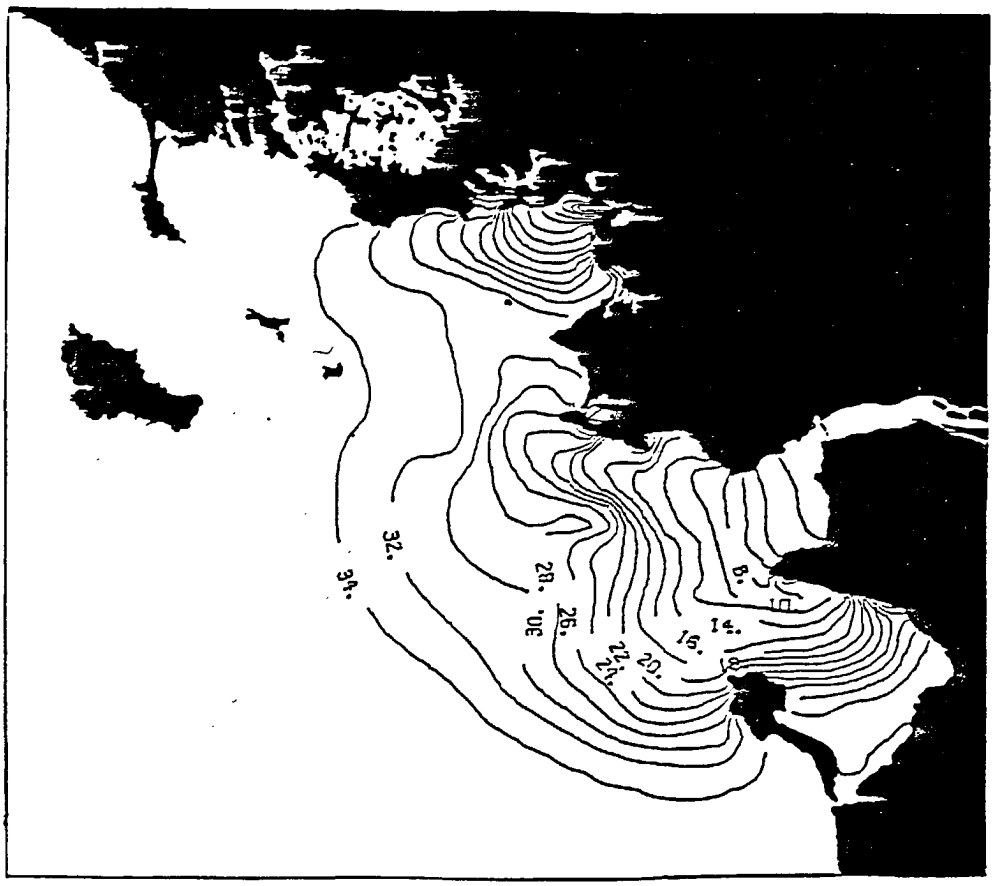


Fig. A14 : Champ de salinité près de la surface (SALOMON et LAZURE, 1988).

Près du fond, il y a formation d'un front de salinité très stable à l'entrée de l'estuaire de la Loire entre les pointes Saint-Gildas et Chémoulin avec l'intrusion d'eau saline en face de la Pointe Saint-Gildas.

Les comparaisons avec les mesures effectuées par LANGLOIS (1982) durant une petite crue confirment les aspects les plus apparents de ces résultats théoriques.

BIBLIOGRAPHIE

Bonnefille R., H. Allen, C. Mignot, 1967 - Etude du Port de plaisance de La Baule-Le Pouliguen. Rapport du L.C.H.F.

Langlois G., 1982 - Etude courantologique et hydrologique de la région côtière située entre les îles de Belle-Ile et Noirmoutier.

Migniot C., B. Bellesort, J. Laurent, 1964-1965 - Sédimentologie. Mission d'études de La Baule-Le Pouliguen. Rapport du L.C.H.F.

Salomon J.C., P.Lazure, 1988 - Etude par modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. Rapport IFREMER DERO-88.26 - EL.

Saunier Eau et Environnement, 1984 - Etude d'impact prélable à l'extension de la station d'épuration de Livery. SIVOM de la région Bauloise.

ANNEXE 3

ARRETE DU 13 JUIN 1988

Arrêté du 13 juin 1988 portant classement en zone insalubre d'un gisement naturel de coques émergent, dit de « La Plage Benoit », dans la baie du Pouliguen (quartier des affaires maritimes de Saint-Nazaire)

NOR : *MERP8800026A*

Le ministre de la mer,

Vu le décret du 9 janvier 1852 modifié sur l'exercice de la pêche maritime ;

Vu la loi n° 84-608 du 16 juillet 1984 relative à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer ;

Vu le décret du 20 août 1939 modifié relatif à la salubrité des huitres, moules et autres coquillages, et notamment ses articles 25 et 21 ;

Vu le décret n° 82-635 du 21 juillet 1982 pris en application de l'article 3 du décret n° 82-389 du 10 mai 1982 et de l'article 3 du décret n° 82-390 du 10 mai 1982 relatif aux pouvoirs des commissaires de la République sur les services des affaires maritimes ;

Vu le décret n° 84-426 du 5 juin 1984 relatif à la création, à l'organisation et au fonctionnement de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer ;

Vu l'arrêté du 12 octobre 1976 fixant les normes de salubrité des zones conchylicoles ;

Vu les résultats d'analyses des prélèvements effectués sur le gisement naturel de coques dit de « La Plage Benoit » par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer en 1985 et 1986 ;

Vu l'avis du chef du service maritime et de la navigation de la Loire-Atlantique et de Maine-et-Loire en date du 6 novembre 1987 ;

Vu l'avis du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales de la Loire-Atlantique en date du 23 octobre 1987 ;

Vu le procès-verbal de la réunion de la commission locale de salubrité des coquillages en date du 15 décembre 1987 ;

Sur la proposition de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer et du directeur régional des affaires maritimes à Nantes ;

Considérant que les analyses des prélèvements effectués sur le gisement naturel de coques dit de « La Plage Benoit » par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer en 1985 et 1986 font apparaître le caractère insalubre de ce gisement ;

Considérant que la procédure d'enquête publique a fait ressortir une réclamation au projet de classement du gisement en zone insalubre ;

Considérant qu'en application de l'article 2 du décret du 20 août 1939 précité toute réclamation lors de la procédure d'enquête entraîne un classement du gisement considéré par le ministre chargé de la marine marchande,

Arrête :

Art. 1er. - Est classé, du point de vue administratif, en zone insalubre le gisement de coques émergent dit de « La Plage Benoit », situé dans la baie de Pouliguen, dans le ressort du quartier des affaires maritimes de Saint-Nazaire.

Art. 2. - Le gisement cité à l'article 1er est délimité de la façon suivante :

Au Nord, par le rivage bordant la commune de La Baule-Escoublac ;

A l'Ouest, par le chenal de Pouliguen ;

Au Sud et à l'Est, par une ligne joignant la balise des Grands Impairs à la tour Saint-Clair.

Art. 3. - La pêche et le ramassage des coques restent et demeurent interdits sur l'ensemble du gisement, sauf décision du préfet de la région Pays de la Loire, préfet du département de la Loire-Atlantique, dans les conditions prévues à l'article 5 du décret du 20 août 1939 susvisé.

Art. 4. - Toutes dispositions contraires au présent arrêté sont abrogées.

Art. 5. - Le préfet de la région Pays de la Loire, préfet du département de la Loire-Atlantique, le directeur régional des affaires maritimes à Nantes et le directeur départemental des affaires maritimes de la Loire-Atlantique, chef du quartier de Saint-Nazaire, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 13 juin 1988.

Pour le ministre et par délégation :
Le directeur des pêches maritimes et des cultures marines,
J.-Y. HAMON

ANNEXE 4

ARRETE N° 118/89

PREFECTURE DE LA REGION
DES PAYS DE LA LOIRE

DIRECTION REGIONALE
DES AFFAIRES MARITIMES
- NANTES -

République Française

NANTES, le 8 septembre 1989

ARRETE N° 118/89

règlementant la pêche de coques sur le gisement naturel insalubre émergent de la "Plage Benoît", Baie de La Baule / Le Pouliguen, Quartier de SAINT-NAZAIRE, pendant la campagne 1989/1990.

Le Préfet,
Préfet de la Région des PAYS DE LA LOIRE,
Préfet du Département de la Loire-Atlantique,
Officier de la Légion d'Honneur,

VU le Décret du 9 janvier 1852 modifié, sur l'exercice de la pêche maritime ;

VU le Décret du 4 juillet 1953 modifié, portant règlementation de la pêche maritime côtière dans le 3ème arrondissement maritime ;

VU le Décret du 18 mai 1862 portant règlementation de la pêche maritime côtière ;

VU la Loi du 30 janvier 1930 et le Décret du 1er février 1930 relatifs aux pouvoirs de police et de règlementation des pêches maritimes ;

VU le Décret du 20 août 1939 sur la salubrité des huitres, moules et autres coquillages, modifié par le Décret n° 69.758 du 12 juin 1969 ;

VU le Décret n° 82.635 du 21 juillet 1982, article 3, relatif aux pouvoirs des Commissaires de la République pour les Services des Affaires Maritimes ;

.../...

VU l'Arrêté n° 764 MMP/1 et MMP/2 du 17 février 1965 fixant la taille marchande des coquillages ;

VU l'Arrêté en date du 7 août 1989 du Préfet de la Région des Pays de la Loire, Préfet du Département de la Loire-Atlantique, donnant délégation de signature au Directeur Régional des Affaires Maritimes des Pays de la Loire ;

VU l'Arrêté n° 1486 P4/P6 du 13 juin 1988 portant classement en zone insalubre du gisement de la plage Benoit ;

VU l'avis émis par l'IFREMER le 5 septembre 1989 ;

SUR proposition de l'Administrateur des Affaires Maritimes, Chef du Quartier de SAINT-NAZAIRE ;

ARRETE

ARTICLE 1 :

La pêche à pied des coques sur le gisement insalubre émergent de la plage Benoit, situé en Baie de LA BAULE / LE POULIGUEN, est autorisée du Lundi 18 septembre 1989 au Vendredi 15 juin 1990.

ARTICLE 2 :

L'exercice de la pêche est subordonné aux conditions suivantes :

2.1 - La pratique de cette activité est liée à la délivrance préalable d'une autorisation accordée par l'Administrateur des Affaires Maritimes, Chef du Quartier de SAINT-NAZAIRE, sur présentation d'un contrat passé avec un détenteur d'autorisation d'exploitation de cultures marines ou un exploitant de station d'épuration.

Le titulaire de l'autorisation sus-citée doit inscrire quotidiennement le total de ses captures sur un "CAHIER DE PECHE", document devant pouvoir être présenté à toute demande des agents chargés du contrôle des pêches maritimes, notamment lors des retours de pêche.

.../...

Ce cahier doit porter les mentions suivantes :

- les quantités pêchées ;

- la destination des produits, en précisant, en cas de pluralité de destinataires, la quantité vendue respectivement à chacun.

Ce cahier doit être signé par les destinataires au moment de la réception de la marchandise.

2.2 - Le reparcage des produits pêchés n'est autorisé que dans la zone de parcs du "Traict du Croisic" et est fixé à une durée minimale de 30 jours.

Il ne peut être autorisé que pour les détenteurs d'une autorisation d'exploitation de cultures marines ayant obtenu, au préalable, une autorisation de reparcage.

Cette autorisation, délivrée par l'Administrateur des Affaires Maritimes, Chef du Quartier de SAINT-NAZAIRE, indique la ou les parties de parcelles réservées au reparcage, ces dernières ne pouvant contenir de coques issues d'une provenance autre que celle du gisement naturel concerné par le présent arrêté.

Le détenteur de l'autorisation prévue au présent paragraphe devra tenir un "CAHIER DE REPARCAGE", document devant être présenté à toute demande des agents chargés du contrôle des pêches maritimes.

Ce cahier doit, pour chaque opération de reparcage, porter les mentions suivantes :

- la date de l'opération ;

- la quantité mise en reparcage ;

- la provenance précise des lots de coquillages reparqués ;

- la quantité repêchée.

2.3 - La durée minimale de dépôt en station d'épuration des coquillages concernés est fixée à 48 heures.

L'exploitant de station d'épuration doit tenir à jour et mettre à la disposition des agents chargés du contrôle des pêches maritimes, un "CAHIER D'EPURATION" spécifique devant comporter au minimum pour chacune des opérations effectuées, la date de celles-ci, la provenance précise des coquillages épurés et la date de mise en marché des produits après épuration.

.../...

2.4 - Les coquillages pêchés doivent être remontés à terre pour reparcage ou épuration dans les secteurs de LA BAULE ou du POULIGUEN.

Leur transport jusqu'au lieu de reparcage ou d'épuration doit se faire sous couvert de bons de transport modèle NS, délivrés par l'IFREMER.

2.5 - Toute infraction aux termes du présent article entraînera automatiquement la suspension provisoire ou le retrait de l'autorisation de pêche ou de reparcage sans indemnité à la charge de l'Etat.

ARTICLE 3 :

Afin de préserver l'intérêt économique du gisement concerné, la pêche et le ramassage des coques n'ayant pas la taille marchande est strictement interdit.

ARTICLE 4 :

La pêche des coquillages est interdite avant le lever et après le coucher du soleil ainsi que les Samedis, Dimanches et jours fériés.

ARTICLE 5 :

Il est interdit de jeter sur le gisement des déchets de quelque nature que ce soit.

La pêche des coquillages sur le gisement s'effectue à la main ou au moyen de rateaux à dents de 5 mm d'épaisseur écartées de 40 mm.

L'usage de la raclette, de la drague ou de la pelle est formellement interdit.

.../...

ARTICLE 6 :

En cas de nécessité, la pêche pourra être suspendue à tout moment par l'Administrateur des Affaires Maritimes, Chef du Quartier de SAINT-NAZAIRE, ou son représentant.

ARTICLE 7 :

Le Directeur Régional des Affaires Maritimes des Pays de la Loire, le Directeur du Centre IFREMER de NANTES, l'Administrateur des Affaires Maritimes, Chef du Quartier de SAINT-NAZAIRE, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de la publication et de l'exécution du présent arrêté.

Pour le Préfet,
et par délégation :
L'Administrateur en Chef de 1ère Classe PICHON
Directeur Régional des Affaires Maritimes
des PAYS DE LA LOIRE

ANNEXE 5

ARRETE DU 12 OCTOBRE 1976

ARRETE DU 12 OCTOBRE 1976

fixant les normes de salubrité des zones conchylicoles.

(*Journal officiel* du 23 novembre 1976.)

Le ministre de la santé et le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'équipement (Transports),

Vu le décret du 20 août 1939, modifié par les décrets n° 48-1324 du 25 août 1948 et n° 69-578 du 12 juin 1969 ;

Vu l'avis émis par le conseil supérieur d'hygiène publique de France au cours de sa séance du 26 avril 1976,

Arrêtent :

Article 1er.

La salubrité des eaux conchylicoles est déterminée sur la base d'isolement des germes tests de contamination fécale présents dans les coquillages vivant au lieu considéré.

Article 2.

L'évaluation de la contamination est exprimée par les nombres les plus probables de coliformes fécaux trouvés dans 100 millilitres de chair de coquillages broyée et diluée dans les conditions fixées à l'annexe technique au présent arrêté.

Pour tenir compte des fluctuations naturelles dans la charge microbienne des eaux marines, l'évaluation s'effectue sur vingt-six prélèvements échelonnés sur douze mois consécutifs.

Article 3.

Remplissent les conditions nécessaires pour être classées salubres les zones dans lesquelles le nombre de coliformes fécaux par 100 millilitres de chair de coquillages ainsi déterminé est inférieur ou égal à 300.

Les normes sont considérées comme respectées si le nombre des résultats en dépassement n'excède pas cinq en douze mois consécutifs, les teneurs en coliformes pour 100 millilitres de chair restant dans ce cas inférieures à 1 000 pour trois des prélèvements et à 3 000 pour les deux autres.

Article 4.

Les zones ne répondant pas aux conditions fixées dans l'article 3 font l'objet de la procédure de classement en zone insalubre. La récolte des coquillages y est interdite, sauf autorisations données dans les conditions fixées à l'article 5.

Article 5.

Dans les zones classées insalubres, seule la récolte des coquillages, qui doivent faire ensuite l'objet d'une épuration ou d'un reparcage, peut être autorisée par le directeur des affaires maritimes après avis conforme du directeur de l'institut scientifique et technique des pêches maritimes.

Toutefois, lorsque la teneur en coliformes fécaux dépasse 10 000 par 100 millilitres de chair de coquillages dans 25 p. 100 des échantillons, l'autorisation requiert en outre l'avis conforme du directeur départemental de l'action sanitaire et sociale.

Article 6.

Le directeur général de la santé, le directeur des pêches maritimes et le directeur de l'institut scientifique et technique des pêches maritimes sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'application du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française et au *Bulletin officiel* de la marine marchande.

Fait à Paris, le 12 octobre 1976.

Le ministre de la santé,

Pour le ministre et par délégation :

Le directeur général de la santé,

PIERRE DENOIX.

Le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'équipement (Transports),

Pour le secrétaire d'Etat et par délégation :

Le secrétaire général de la marine marchande,

JEAN CHAPON.

ANNEXE 6

RESULTATS BRUTS – EXPLOITATION DES DONNEES

Date	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
20/07/89	558	1440	558	2580	22	258	138	138	22	138	14400
04/08/89	138	440	258	258	258	90	138	440	2580	258	138
17/08/89	1440	14400	1440	900	90	558	5580	440	2580	1260	1440
31/08/89	120	138	18	22	18	22	90	258	126	258	90
14/09/89	558	2580	1440	138	258	258	558	258	258	138	558
28/09/89	138	55	138	18	55	22	< 18	258	58	< 18	18
12/10/89	558	55	44	55	138	138	258	55	558	90	558
19/10/89	55	258	< 18	18	18	55	< 18	22	55	90	55
02/11/89	138	138	138	258	138	55	22	22	55	558	55
16/11/89	22	55	55	90	18	90	44	22	558	55	55
14/12/89	558	2580	2580	2580	558	2580	55	558	4500	1440	2580
27/12/89	258	138	258	1440	258	138	138	558	900	258	558
11/01/90	138	138	1440	55	558	55	138	258	1440	55	138
25/01/90	168	1440	44	55	258	44	120	55	558	1440	258
01/02/90	55	22	< 18	18	138	< 18	22	22	55	22	22
08/02/90	55	22	22	22	90	< 18	55	90	1440	55	55
01/03/90	258	258	90	558	126	90	558	558	558	558	558
15/03/90	258	138	1440	558	138	258	138	558	258	558	1440
29/03/90	22	22	55	22	258	55	138	55	228	22	22
12/04/90	138	55	126	258	258	22	22	< 18	138	138	55
26/04/90	558	1440	1440	1440	1440	138	138	< 18	< 18	< 18	138
10/05/90	1440	90	1440	258	558	900	258	558	55	558	258
07/06/90	258	44	37	138	18	55	22	558	37	37	37
21/06/90	168	90	558	55	450	258	558	558	138	2580	450
28/06/90	< 18	< 18	< 18	< 18	< 18	< 18	22	< 18	< 18	< 18	< 18
12/07/90	55	< 18	< 18	< 18	< 18	22	22	< 18	55	< 18	< 18

Tab. A6 : Données brutes : mesures en coliformes fécaux pour 100 ml de broyat de coques, pour les 11 stations de prélèvement.

Date	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	S8	S9	S10	S11
20/07/89	4,5	3	4,5	2	10,5	6	8	8	10,5	8	1
04/07/89	9	2,5	5,5	5,5	5,5	11	95	2,5	1	5,5	9
17/08/89	6	1	6	8	11	9	2	10	3	4	6
31/08/89	5	3	10,5	8,5	10,5	8,5	6,5	1,5	4	1,5	6,5
14/09/89	4	1	2	10,5	7;5	7,5	4	7,5	7,5	10,5	4
28/09/89	2,5	5,5	2,5	10	5,5	7	10	1	4	10	8
12/10/89	2	9	11	9	5,5	5,5	4	9	2	7	2
19/10/89	4,5	1	9,5	9,5	9,5	4,5	9,5	7	4,5	2	4,5
02/11/89	4,5	4,5	4,5	2	4,5	8	10,5	10,5	8	1	8
16/11/89	9,5	9,5	5,5	2,5	11	2,5	8	9,5	1	5,5	5,5
14/12/89	9	4	4	4	9	4	11	9	1	7	4
27/12/89	6,5	10	6,5	1	6,5	10	10	3,5	2	6,5	3,5
11/01/90	6,5	6,5	1,5	10	3	10	6,5	4	1,5	10	6,5
25/01/90	6	1,5	10,5	8,5	4,5	10,5	7	8,5	3	1,5	4,5
01/02/90	2,5	6	10	10	1	10	6	6	2,5	6	6
08/02/90	5,5	9	9	9	2,5	11	5,5	2	1	5,5	5,5
01/03/90	7,5	7,5	10,5	3,5	9	10,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
15/03/90	7	10	1,5	4	10	7	10	4	7	4	1,5
29/03/90	9	9	5	9	1	5	3	5	2	9	9
12/04/90	4	7,5	6	1,5	1,5	9,5	9,5	11	4	4	7,5
26/04/90	5	2,5	2,5	2,5	2,5	7	7	10	10	10	7
10/05/90	1,5	10	1,5	8	5	3	8	5	11	5	8
07/06/90	2	5	7,5	3	11	4	10	1	7,5	7,5	7,5
21/06/90	8	10	3	11	5,5	7	3	3	39	1	5,5
28/06/90	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	1	6,5	6,5	6,5	1
12/07/90	1,5	8	8	8	8	3,5	3,5	8	1,5	8	8

Tab. A7 : Tableau des classements (test de Friedman) par date, et par concentrations décroissantes, pour les 11 stations de prélèvement.

Station 9

	CF1	CF2	CF3
PL1	4	1	1
PL2	5	1	1
PL3	7	3	3
VF1	10	3	3
VF2	6	2	2
VD1	6	1	1
VD2	4	3	1
VD3	6	1	3

Tab. A8 : Tableau de contingence (analyse factorielle des correspondances) – Station 9.

Station 10

	CF1	CF2	CF3
PL1	5	1	0
PL2	6	1	0
PL3	7	2	4
VF1	13	2	1
VF2	5	2	3
VD1	5	3	0
VD2	8	0	0
VD3	5	1	4

Tab. A9 : Tableau de contingence (analyse factorielle des correspondances) – Station 10.

ROW MARGIN

r1	0.07692
r2	0.08974
r3	0.16667
r4	0.20513
r5	0.12821
r6	0.10256
r7	0.10256
r8	0.12821

COLUMN MARGIN

c1	0.61538
c2	0.19231
c3	0.19231

COLUMN COVARIANCE MATRIX

c1	0.00873	-0.01153	-0.00408
c2	-0.01153	0.02865	-0.00802
c3	-0.00408	-0.00802	0.01531

INERTIA RESULTS OF THE CORRESPONDENCE ANALYSIS

COMPONENT NUMBER	PERCENT OF VARIANCE	CUMULATIVE PERCENTAGE
1	67.55850	67.55850
2	32.44150	100.00000

EIGENVALUES

1	0.03560
2	0.01709

ROW PRINCIPAL COMPONENTS

c1	-0.43476	0.66029
c2	2.04235	-0.16974
c3	-0.65113	-1.94320

COLUMN PRINCIPAL COMPONENTS

r1	-0.30725	0.67339
r2	-0.59255	1.29868
r3	0.46087	-1.01009
r4	-0.05761	0.12626
r5	0.09217	-0.20202
r6	-0.80652	1.76765
r7	2.47584	0.18047
r8	-1.33546	-1.55850

ROW CONTRIBUTIONS

r1	0.00726	0.03488
r2	0.03151	0.15136
r3	0.03540	0.17005
r4	0.00068	0.00327
r5	0.00109	0.00523
r6	0.06672	0.32047
r7	0.62870	0.00334
r8	0.22865	0.31140

COLUMN CONTRIBUTIONS

c1	0.11632	0.26830
c2	0.80215	0.00554
c3	0.08153	0.72616

ROW COORDINATES

r1	-0.05797	0.08804
r2	-0.11179	0.16979
r3	0.08695	-0.13206
r4	-0.01087	0.01651
r5	0.01739	-0.02641
r6	-0.15216	0.23110
r7	0.46711	0.02359
r8	-0.25196	-0.20376

COLUMN COORDINATES

c1	-0.08202	0.08633
c2	0.38533	-0.02219
c3	-0.12285	-0.25405

SIMULTANEOUS REPRESENTATION

r1	-0.05797	0.08804
r2	-0.11179	0.16979
r3	0.08695	-0.13206
r4	-0.01087	0.01651
r5	0.01739	-0.02641
r6	-0.15216	0.23110
r7	0.46711	0.02359
r8	-0.25196	-0.20376
c1	-0.08202	0.08633
c2	0.38533	-0.02219
c3	-0.12285	-0.25405

Tab. A10 : Résultats de l'analyse factorielle des correspondances pour la station 9.

ROW MARGIN

PL1	0.07692
PL2	0.08974
PL3	0.16667
VF1	0.20513
VF2	0.12821
VD1	0.10256
VD2	0.10256
VD3	0.12821

COLUMN MARGIN

CF1	0.69231
CF2	0.15385
CF3	0.15385

COLUMN COVARIANCE MATRIX

CF1	0.04410	-0.02122	-0.07233
CF2	-0.02122	0.05384	-0.00881
CF3	-0.07233	-0.00881	.0.16226

INERTIA RESULTS OF THE CORRESPONDENCE ANALYSIS

COMPONENT NUMBER	PERCENT OF VARIANCE	CUMULATIVE PERCENTAGE
1	75.55096	75.55096
2	24.44904	100.00000

EIGENVALUES

1	0.19659
2	0.06362

ROW PRINCIPAL COMPONENTS

CF1	-0.51621	0.42187
CF2	0.02066	-2.34512
CF3	2.30227	0.44670

COLUMN PRINCIPAL COMPONENTS

PL1	-0.96245	-0.15579
PL2	-0.99128	0.10541
PL3	0.97797	0.01515
VF1	-0.61560	0.30746
VF2	0.98496	-0.49193
VD1	-0.71018	-2.44128
VD2	-1.16426	1.67260
VD3	1.49955	0.61495

ROW CONTRIBUTIONS

PL1	0.07125	0.00187
PL2	0.08818	0.00100
PL3	0.15940	0.00004
VF1	0.07774	0.01939
VF2	0.12438	0.03103
VD1	0.05173	0.61127
VD2	0.13902	0.28693
VD3	0.28829	0.04848

COLUMN CONTRIBUTIONS

CF1	0.18448	0.12321
CF2	0.00007	0.84609
CF3	0.81545	0.03070

ROW COORDINATES

PL1	-0.42673	-0.03929
PL2	-0.43951	0.02659
PL3	0.43361	0.00382
VF1	-0.27294	0.07755
VF2	0.43671	-0.12408
VD1	-0.31488	-0.61575
VD2	-0.51621	0.42187
VD3	0.66487	0.15510

COLUMN COORDINATES

CF1	-0.22888	0.10641
CF2	0.00916	-0.59150
CF3	1.02078	0.11267

SIMULTANEOUS REPRESENTATION

PL1	-0.42673	-0.03929
PL2	-0.43951	0.02659
PL3	0.43361	0.00382
VF1	-0.27294	0.07755
VF2	0.43671	-0.12408
VD1	-0.31488	-0.61575
VD2	-0.51621	0.42187
VD3	0.66487	0.15510
CF1	-0.22888	0.10641
CF2	0.00916	-0.59150
CF3	1.02078	0.11267

Tab. A11 : Résultats de l'analyse factorielle des correspondances pour la station 10.

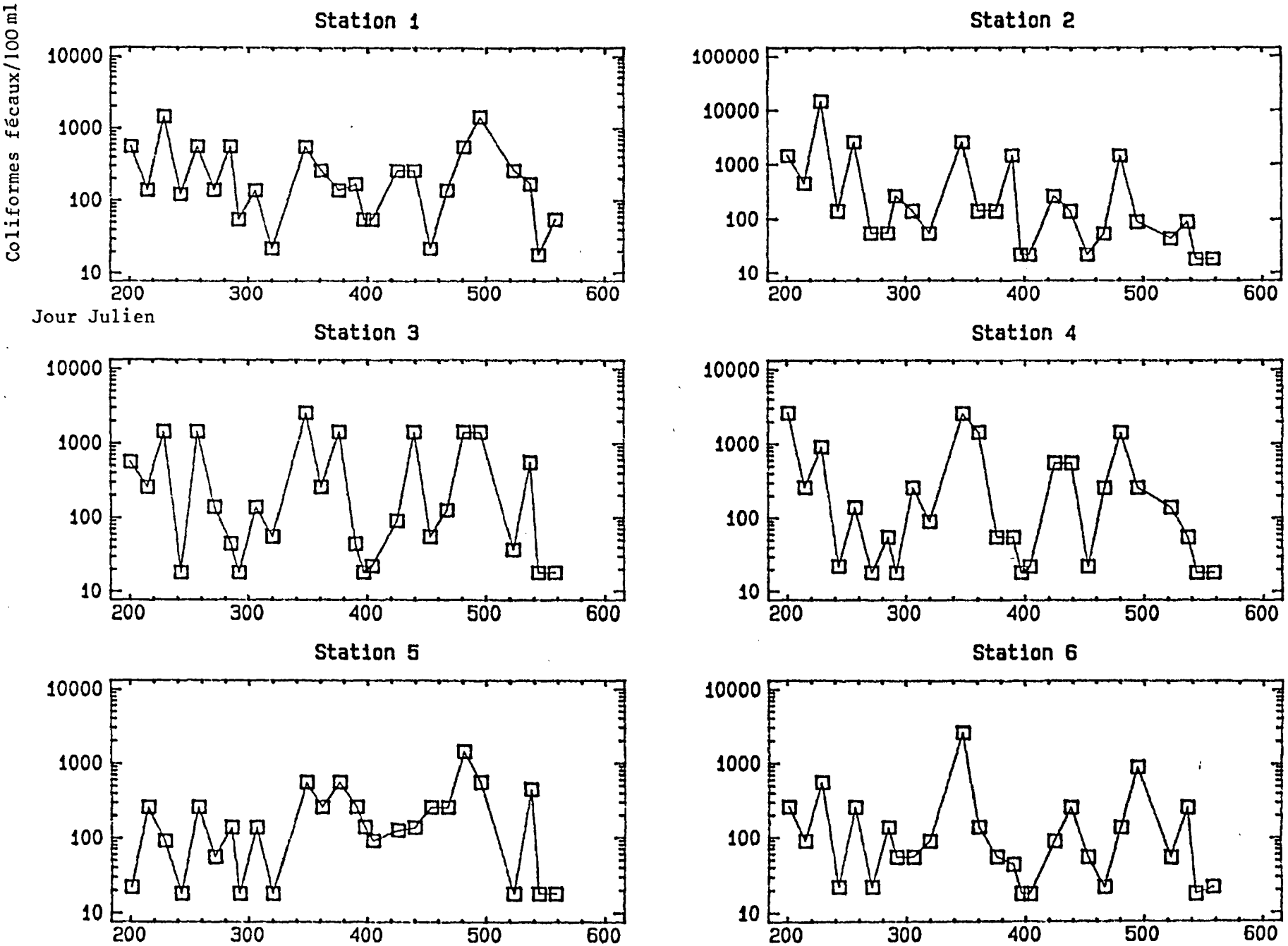


Fig. A15 : Evolution de la concentration en coliformes fécaux pour la plage Benoît (stations 1 à 6).

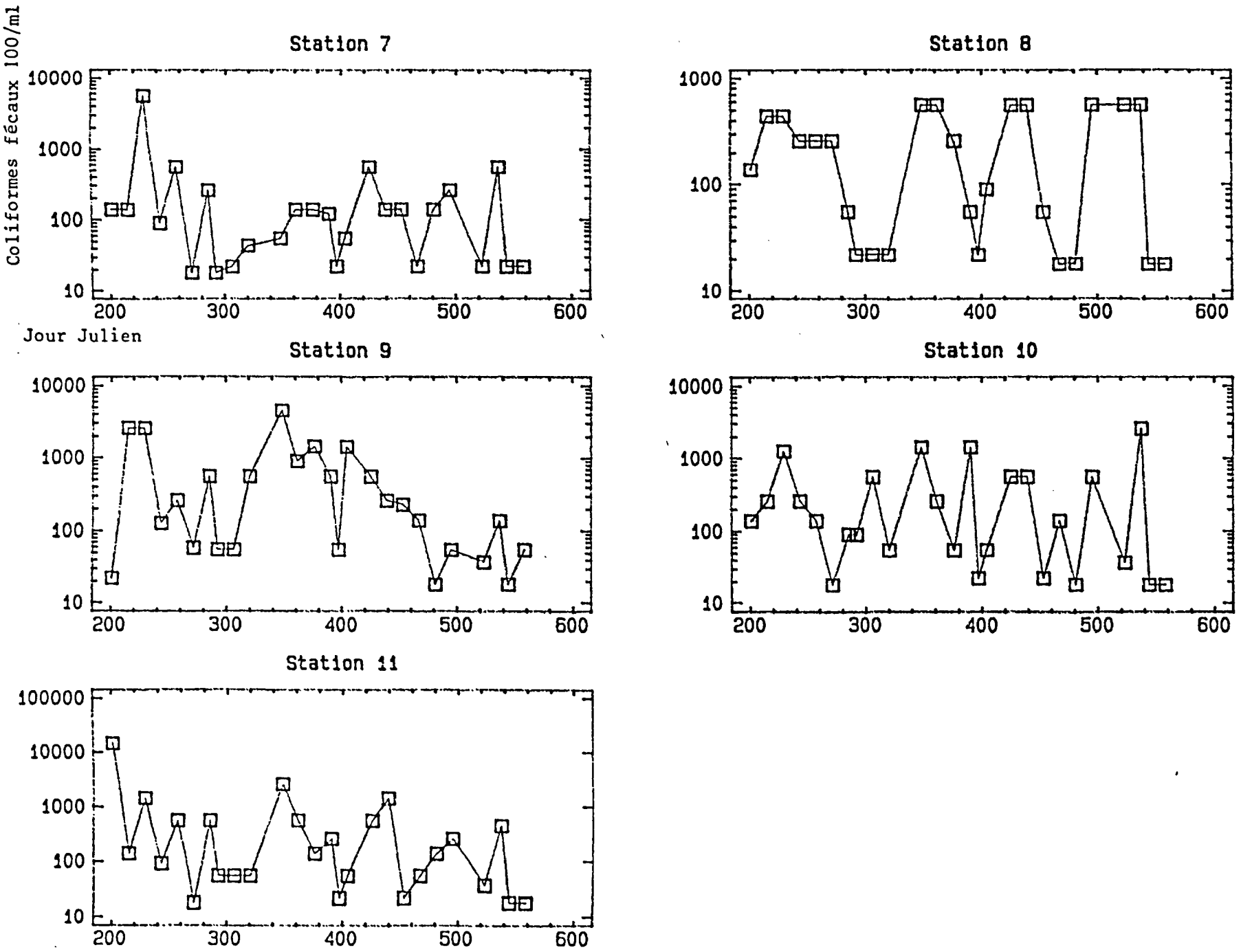
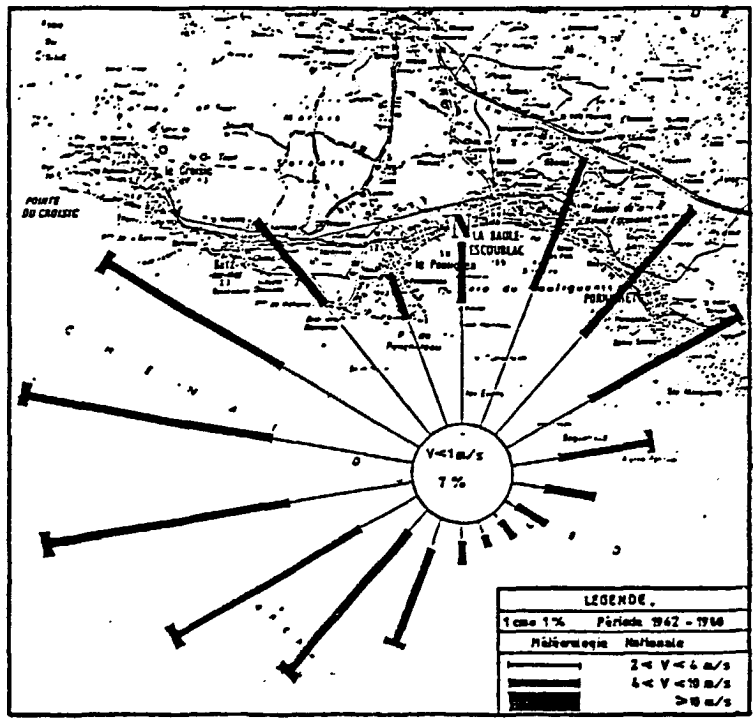
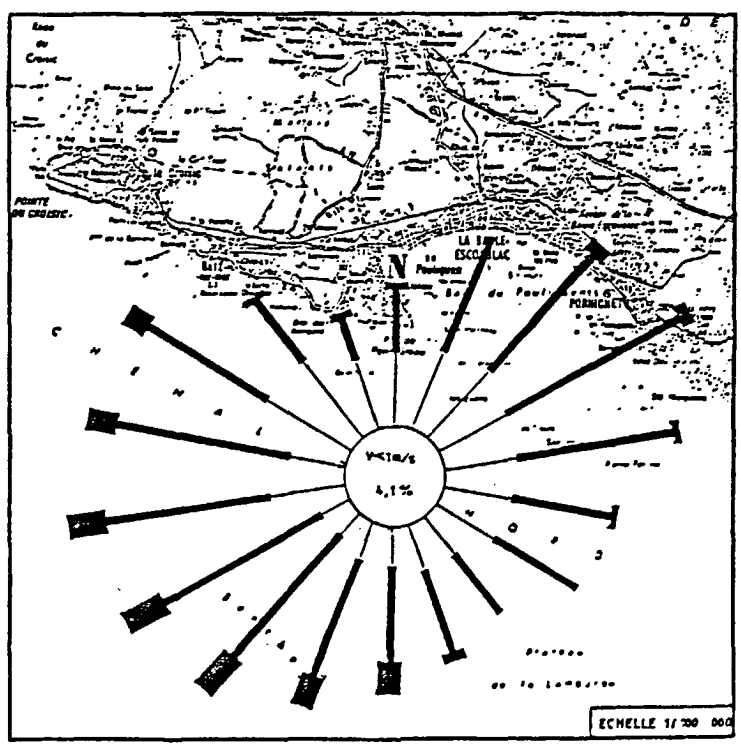


Fig. A16 : Evolution de la concentration en coliformes fécaux pour la plage Benoît (stations 7 à 11).



Période estivale



Période hivernale

Fig. A17 : Caractéristique des vents – Station de Saint-Nazaire (réduction 50 %).

Fig. A18 : Localisation des points de suivi A6 et A7 de la plage Benoît (DDASS Loire-Atlantique, 1989).

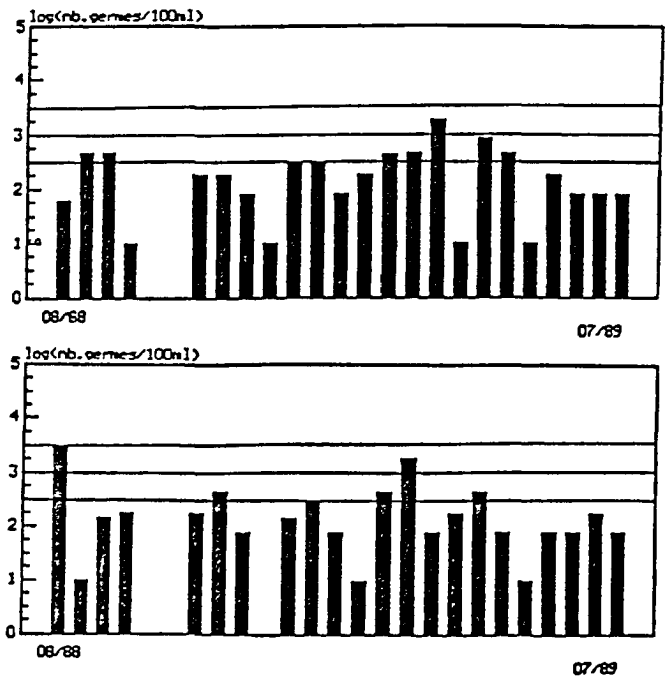


Fig. A19 : Evolution de la concentration en coliformes fécaux pour les points A6 (haut) et A7 (bas) de la plage Benoît (DDASS Loire-Atlantique, 1989).

VIII - LEXIQUE

- Algorithme

Ensemble des règles opératoires à un calcul.

- Courant résiduel eulérien

Moyenne mathématique des vitesses au point fixe durant une période considérée.

- Courant résiduel lagrangien

Vitesse déduite du déplacement d'une masse d'eau durant une période considérée.

- Force de Coriolis

Force apparente agissant perpendiculairement au vecteur vitesse sur une masse en mouvement à la surface de la terre. Cette force tend à dévier le mouvement vers la droite dans l'hémisphère Nord ou vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

- Maximum de vraisemblance

Cet estimateur fournit une estimation, qui maximise un certain résultat obtenu. Par exemple, le NPP est la concentration en bactéries dans une suspension qui rend maximum le résultat en nombre de tubes positifs obtenu, après incubation. On dit que le NPP maximise la vraisemblance d'avoir observé un tel résultat.

Mac Crady (1), en 1915, est le premier à avoir donné une interprétation quantitative de la méthode de dilution des tubes. Le *Most Probable Number (MPN)* était né ! Soulignons que *probable* signifie également vraisemblable. Il semblerait alors plus justifié d'utiliser le terme NPV (Nombre le Plus Vraisemblable) dans la mesure où la distribution de la concentration bactérienne, estimée à partir d'un résultat en nombre de tubes positifs, n'est pas une distribution de probabilité mais une vraisemblance, dont le *MPN* est le mode.

- Moyenne géométrique

Soient x1, x2,..., xn, n mesures constituant un échantillon. La moyenne géométrique de ces valeurs s'écrit :

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \ldots x_n}$$

(1) Mc CRADY M.H., 1915 - The numerical interpretation of fermentation tube results. J. Infect. Dis. 17 : 183-212

- Médiane

Soit un échantillon de valeurs, la médiane est le paramètre statistique tel que 50 % des valeurs observées lui soient inférieure, et les 50 % restantes supérieures. En cas d'un nombre de valeurs paires, la médiane se calcule comme la demi-somme des deux valeurs centrales après classement des valeurs.

- Non-paramétrique

Une statistique est dite non-paramétrique, quand la ou les variables étudiées ne font pas l'objet d'une hypothèse de distribution théorique, telle que par exemple la loi normale.

- Tableau de contingence

Un tableau de contingence est constitué de cases; chaque case contient le nombre ou fréquence d'individus possédant à la fois la caractéristique de la variable "colonne" et celle de la variable "ligne". Par exemple, en se référant au tableau A8 (annexe VI) 10 mesures, sur les 26 effectuées à la station 9, ont été accompagnées de vents faibles (VF1) et ont présenté une contamination moindre (CF1).

- Variance

La variance est un paramètre, au même titre que la moyenne, caractérisant un échantillon de valeurs. La variance mesure la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Si $\bar{x}$ est l'estimation de la moyenne, la variance de n valeurs est estimée par :

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$